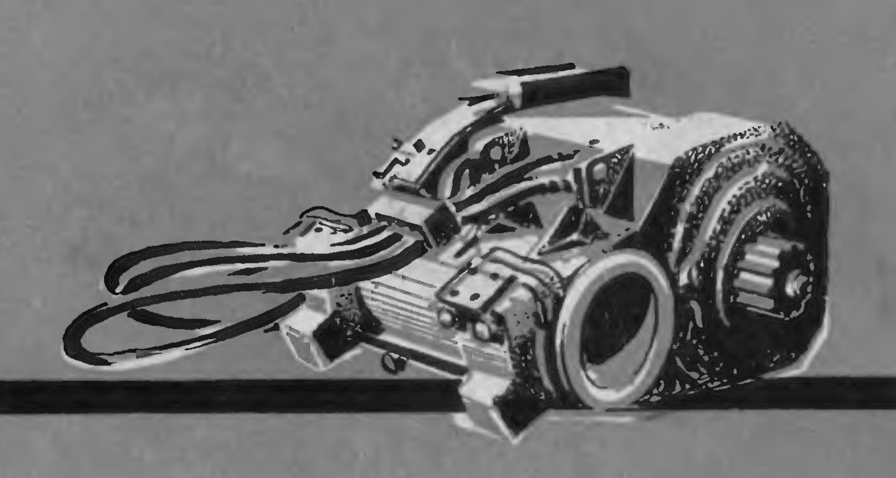
А. Л. КУРОЧКА, А. Л. ЛОЗАНОВСКИЙ, Л. Л. ЗУСМАНОВСКАЯ

Испытания тяговых машин и аппаратов электрических локомотивов и тепловозов



ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ • 1959

А. Л. КУРОЧКА, А. Л. ЛОЗАНОВСКИЙ,
Л. Л. ЗУСМАНОВСКАЯ

ИСПЫТАНИЯ ТЯГОВЫХ МАШИН И АППАРАТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛОКОМОТИВОВ И ТЕПЛОВОЗОВ

★



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТРАНСПОРТНОЕ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
Москва 1959

В книге описаны методы испытаний электрических машин и аппаратов электровозов, электросекций и тепловозов на всех стадиях их изготовления и ремонта.

Кроме того, рассматриваются конструкции оборудования и электрические схемы испытательных станций.

Книга рассчитана на работников, связанных с изготовлением, эксплуатацией и ремонтом тягового электрического оборудования, и студентов транспортных втузов.

Редактор инж. Л. С. СОКОЛОВ

ОТ АВТОРОВ

Семилетний план развития народного хозяйства СССР на 1959—1965 гг., утвержденный XXI съездом КПСС, предусматривает коренную техническую реконструкцию железнодорожного транспорта на основе широкого внедрения электрической и тепловозной тяги. В связи с этим ряд заводов по ремонту паровозов и вагонов переоборудуется для ремонта электроподвижного состава и тепловозов. Одновременно паровозные депо на дорогах переходят на обслуживание электровозов, электросекций и тепловозов. Поэтому работники ремонтных заводов и паровозных депо должны будут осваивать ремонт этих локомотивов. Если в ремонте механической части паровозов, электровозов и тепловозов много общего, то ремонт и испытание тяговых двигателей и электрической аппаратуры является для этих работников незнакомым делом, которое им придется изучать заново. Настоящая книга и ставит своей целью оказать помощь работникам, которым предстоит заниматься на заводах и в депо ремонтом и испытанием тяговых машин и электрической аппаратуры.

Следует отметить, что испытания тягового электрооборудования недостаточно освещены в литературе.

Книга написана в основном на базе опыта Новочеркасского электровозостроительного завода (НЭВЗ), который является ведущим в электровозостроении. При этом учтен опыт Харьковского завода тепловозного электрооборудования (ХЭТЗ), Рижского электромеханического (РЭЗ), завода «Динамо» имени С. М. Кирова, ремонтных заводов и локомотивных депо.

Авторы стремились привести в книге материалы, нашедшие широкое использование при испытаниях электрооборудования на заводах, ремонтных предприятиях и в депо.

Авторы приносят благодарность канд. техн. наук Н. Н. Сидорову, инж. А. В. Жукову, инж. Б. Г. Кузнецову за помощь и ценные замечания по рукописи книги.

Все пожелания и замечания просьба направлять по адресу: Москва, Б-174, Басманный тупик, 6а, Трансжелдориздат.

ГЛАВА I

РЕЖИМЫ И УСЛОВИЯ РАБОТЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

§ 1. Условия работы тяговых электрических машин и аппаратов

По условиям работы тяговое электрическое оборудование может быть разделено на две основные группы: машины и аппараты, установленные вне кузова (тяговые двигатели, пантографы, разрядники, пусковые сопротивления моторвагонных секций и т. п.); машины и аппараты, установленные в кузове (вспомогательные машины электровозов, тяговые генераторы тепловозов, контакторы, реле, быстродействующие выключатели и т. п.).

Оборудование, установленное вне кузова, подвергается всем видам атмосферных воздействий и механическим вибрациям от взаимодействия движущегося локомотива и пути, а также наличия в кузове вращающихся механизмов.

Атмосферные воздействия (пыль, дождь и снег) отрицательно сказываются на надежности работы оборудования: повышенная влажность и пыль приводят к снижению электрической прочности изоляции и увеличению опасности ее пробоя или перекрытия по поверхности; влажность и запыленность создают благоприятные условия для коррозии поверхностей оборудования.

Особенно это влияет на коммутирующую часть машин и аппаратов, поверхность которых не может быть покрыта антикоррозийными слоями. За счет загрязнения коллекторов, изоляторов щеткодержателей, увлажнения щеток и загрязнения ими коллектора снижается качество коммутации двигателей и возможно возникновение кругового огня.

Запыленность приводит к осаждению пыли на отдельных элементах оборудования, что ухудшает его теплоотдачу. Попадание пыли на контактные поверхности аппаратов может явиться причиной их подгорания или потери контакта.

Влияние отмеченных факторов усугубляется и тем, что уход за оборудованием, установленным вне кузова, затруднен и, как правило, его осмотр не может производиться при движении локомотива.

Ввиду резкого различия климатических условий, в которых эксплуатируется подвижной состав, его оборудование работает в диапазоне температур окружающего воздуха от —50° С до +45° С

при относительной влажности до 80%. Это еще больше затрудняет работу оборудования, так как способствует старению изоляции и сокращению срока ее службы. При низких температурах резко возрастает сопротивление трогания локомотива с места, что влечет за собой перегрузку всех видов его приводов.

С точки зрения тепловой мощности локомотива следует отметить, что поскольку она устанавливается для температуры +25° С, то при отклонении температуры окружающего воздуха в сторону увеличения для сохранения срока службы оборудования по изоляции тепловая мощность должна быть понижена, наоборот, при более низких температурах тепловая мощность может быть увеличена.

Оборудование, установленное вне кузова, находится в лучших условиях охлаждения за счет обдувания при движении встречными потоками воздуха. Для аппаратуры и тяговых двигателей с самовентиляцией это имеет существенное значение особенно при скорости движения локомотива свыше 100 *км/ч*.

На охлаждении тяговых двигателей с независимой вентиляцией обдувание при движении практически не сказывается. Это объясняется тем, что подача воздуха в двигатель столь интенсивна (скорость охлаждающего воздуха достигает 20 *м/сек*), что дополнительный их обдув потоками встречного воздуха практически теплоотдачу не изменяет.

При движении локомотива все его элементы подвергаются колебаниям, являющимся в основном следствием взаимодействия экипажа и пути. Особенно большое воздействие от пути испытывают тяговые двигатели с опорно-осевым подвешиванием.

Колебания и удары передаются через моторно-осевые подшипники и зубчатую передачу на вал двигателя и его остов, что приводит к возникновению значительных динамических напряжений в узлах двигателя, вибрации коммутирующего аппарата и, как следствие, к ухудшению коммутации.

С точки зрения влияния на коммутацию механических вибраций чрезвычайно важными являются качество балансировки якорей, жесткость щеткодержателей, правильный выбор параметров их нажимных пружин и величины нажатия щеток на коллектор.

Ухудшение коммутации может значительно усугубляться неравномерной выработкой коллекторов, являющейся следствием неоднородности механических свойств материала коллекторов, щеток и нестабильностью технологии их изготовления.

При опорно-осевом подвешивании и скоростях движения до 100 *км/ч* тяговые двигатели подвергаются динамическим воздействиям с вертикальными ускорениями до 5—6 *g*. Частота вибрации зависит от жесткости верхнего строения пути и обычно колеблется от 5÷8 *гц* летом и до 30÷40 *гц* зимой. При независимом подвешивании двигатели испытывают динамические воздействия в 3—3,5 раза меньше.

Оборудование, расположенное вне кузова, в этом отношении находится в лучших условиях, поскольку кузов полностью подрессорен и колебания частично гасятся в рессорах. Тем не менее динамические воздействия на это оборудование также значительны, так как в кузове создаются дополнительные колебания при работе вспомогательных машин или источника энергии локомотива (дизеля, главного генератора и т. п.). При движении локомотива со скоростями до 100 *км/ч* динамические воздействия с вертикальными ускорениями достигают 0,3 g при частоте 2÷5 *гц*, что также затрудняет работу оборудования.

Оборудование, установленное в кузове, подвержено атмосферным воздействиям значительно меньше, чем оборудование, расположенное вне кузова, но испытывает те же механические воздействия. Существенным преимуществом здесь является возможность легкого доступа к оборудованию и, следовательно, возможность обеспечения лучшего ухода.

Однако условия работы оборудования, расположенного в кузове, имеют свои особенности, к которым относятся ухудшенная теплоотдача и взаимное влияние соседнего оборудования.

Эти обстоятельства особенно сказываются на работе аппаратов, которые в основном расположены именно в кузове в специальной камере. Стесненные габариты приводят к тому, что аппараты в камере установлены друг от друга в непосредственной близости, на расстояниях, значительно меньших, чем в энергетических установках общепромышленного применения.

В результате этого тепловая мощность аппаратов, установленных в камере, ниже, чем аппаратов, размещенных индивидуально.

Установленные в камере аппараты подвержены влияниям электромагнитных полей, создаваемых соседними аппаратами. Особенно большое влияние оказывают силовые аппараты, имеющие разомкнутую магнитную систему, и, следовательно, значительные потоки рассеивания (например индуктивные шунты).

Электромагнитные поля могут сказываться как на характеристиках аппаратов, так и на условиях дугогашения.

Для снижения такого влияния необходимо соответствующее размещение аппаратуры и в некоторых случаях экранирование отдельных аппаратов.

Работа аппаратов сопровождается ионизацией окружающего воздуха аппаратной камеры и затруднением гашения электрической дуги коммутирующих аппаратов. Повышенная ионизация создает благоприятные условия для переброса дуги на заземленные части конструкций, что способствует возникновению аварийных режимов. Поэтому для улучшения условий работы аппаратуры целесообразно применение принудительной вентиляции аппаратной камеры, увеличение расстояний до заземленных частей и применение теплостойкой изоляции, как, например, асбофанеры, асбоцемента и т. п.

§ 2. Режимы работы тягового электрооборудования постоянного тока

По режимам работы основное тяговое электрооборудование делится на оборудование, получающее электроэнергию от контактной сети и от источника, установленного на локомотиве. В первую группу входит силовое оборудование электроподвижного состава, во вторую—аппараты управления и электрооборудование тепловозов.

1. Энергоснабжение силового оборудования. При питании от контактной сети электрооборудование работает при значительных

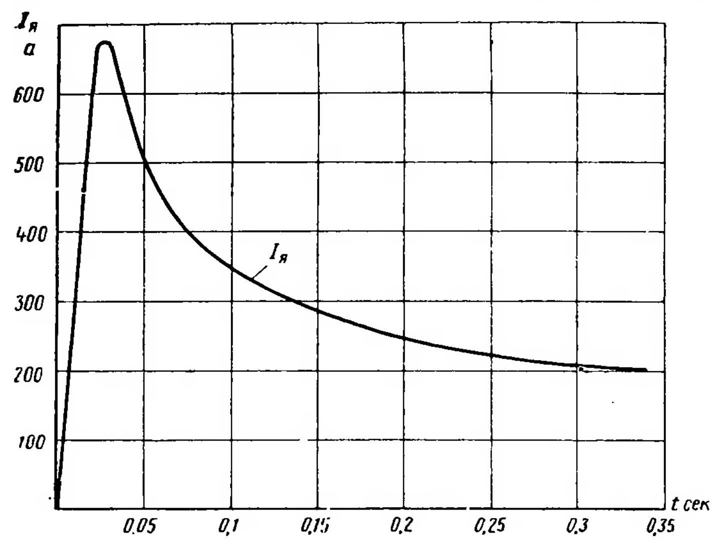


Рис. 1. Бросок тока якоря тягового двигателя НБ-406 при восстановлении питания после полной его потери

изменениях напряжения. В соответствии с ГОСТ 6962—54 для электрифицированных железных дорог допустимо максимальное повышение напряжения от номинального 3 000 *в* до максимального 3 850 *в*, а на участке, где применяется рекуперативное торможение,— до 4 000 *в*. Техническими условиями на проектирование электрификации железных дорог (ТУПЭ—57) установлено минимальное среднее напряжение 2 400 *в*.

В этом диапазоне напряжение изменяется либо плавно, либо скачками, что особенно опасно, так как перепад может доходить до 1 600 *в* и более. Такое изменение напряжения вызывает тяжелые переходные режимы. Особенно тяжелым является бросок силового тока.

В связи с тем, что питание электрооборудования осуществляется через скользящий контакт, в некоторых случаях могут быть полные или частичные перерывы питания с последующим его восстановлением. Эти режимы аналогичны режимам резкого изменения напряжения, но еще более опасны, поскольку величина изменения напряжения может соответствовать полному напряжению сети.

Отмеченные переходные режимы вызывают резкое ухудшение коммутации двигателей, приводящее к перебросам по коллекторам или на корпус машин.

На рис. 1 представлена осциллограмма броска тока $I_я = f(t)$ тягового двигателя НБ-406 при восстановлении потерянного питания. Максимальное значение тока якоря в этом случае в 3—4 раза превышает его установившееся значение.

Чрезвычайно опасным является режим включения тяговых машин на рекуперацию при большой разнице между их э. д. с. и напряжением сети. Зависимость для этого случая тока приведена на рис. 2. Из нее следует, что уже при разнице в 20% $\frac{\Delta U}{U_с}$ бросок тока достигает трехкратного значения по отношению к номинальному $\frac{I_{макс}}{I_{ном}}$.

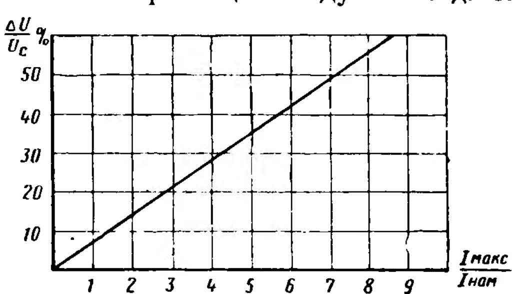


Рис. 2. Зависимость максимального броска тока двигателей от разности противо-э. д. с. и напряжения сети при включении на рекуперацию

Для снижения влияния на электрооборудование, питаемое от сети атмосферных перенапряжений, подвижной состав имеет защиту в виде разрядников. Однако атмосферные перенапряжения все же иногда приводят к нарушению электрической прочности изоляции электрооборудования и выводят его из строя.

Тяговые двигатели электровозов имеют режим работы, определяемый профилем участка, на котором они эксплуатируются, весом поезда и способом его ведения.

Режим работы тяговых двигателей можно охарактеризовать коэффициентом:

$$k_1 = \frac{t_i}{t_д} 100\%; \quad (1)$$

$$k_2 = \frac{t_{оп}}{t_i} 100\%; \quad (2)$$

$$k_3 = \frac{t_1}{t_i} 100\%, \quad (3)$$

где t_i — время движения под током;

$t_д$ — полное время движения;

$t_{оп}$ — время движения на ослабленном поле;

t_1 — время движения под током определенной величины.

Примерные значения коэффициентов режима работы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатель	k_1	k_2	$I_Д < 0{,}5I_н$ k_3	$I_Д = 0{,}5 \div 0{,}8I_н$ k_3	$I_Д = 0{,}8 \div 1{,}1I_н$ k_3	$I_Д > 1{,}1I_н$ k_3
Равнинный профиль .	70—85	40—60	9—14	65—75	12—16,0	3—6
Горный профиль . .	70—80	15—30	10—20	20—30	35—45	15—25

При эксплуатации на равнинных участках, позволяющих развивать и поддерживать на значительных расстояниях высокие скорости, характерным является движение на параллельном соединении двигателей в режиме ослабленного поля при токах, равных 0,5—0,8$I_н$. Выбор весовой нормы поезда обычно производится по нагреванию тяговых двигателей.

В случае эксплуатации на горных участках выбор веса поезда определяется из возможности обеспечения пуска на руководящем подъеме. Ввиду резкого изменения профиля при этих условиях работа осуществляется как в тяговом, так и тормозном режимах. Приведенные в табл. 1 данные учитывают также и применение рекуперативного торможения. Характерным режимом для горного профиля является работа на полном поле и токах 0,5—1,1 $I_н$.

Когда работает локомотив, его колесные пары могут боксовать, что влечет за собой резкое повышение скорости вращения двигателей.

При эксплуатации на горном профиле характерным является боксование при пусках и движении на тяжелых подъемах, т. е. на малой скорости; при эксплуатации на равнинных участках боксование характернее на высокой скорости, что может приводить к нарушению крепления обмотки якоря.

Кроме рассмотренных режимов, следует остановиться и на некоторых особых режимах работы тяговых двигателей. К ним относятся, в частности, рекуперативное торможение и электрические замыкания на землю участка силовой цепи, находящейся до быстродействующего выключателя. Поскольку на электровозах применяют поляризованные быстродействующие автоматы, электрооборудование от этих замыканий защищено недостаточно. В этих случаях возможен переход тяговых двигателей в генераторный режим с работой на цепь короткого замыкания.

Особенностями работы при рекуперативном торможении являются повышенное напряжение на коллекторах тяговых двигателей и переходные режимы, определяющиеся устойчивостью работы схем рекуперации.

Повышенное напряжение на коллекторах тяговых двигателей ухудшает коммутацию и в некоторых случаях может служить причиной перебросов. При рекуперации также возникают переходные режимы вследствие резкого изменения напряжения контактной сети, тока рекуперации, тока возбуждения и т. д. Процессы

этих режимов определяются схемой рекуперации и параметрами ее элементов и могут быть либо затухающими, либо незатухающими. В случае интенсивно затухающего процесса переход от одного установившегося режима к другому будет быстрым. При процессе, затухающем медленно или вообще незатухающем, будет длительный переход от одного установившегося режима к другому и неустойчивая работа схемы. Последнее может привести к аварийным толчкам тока и э. д. с. тяговых двигателей.

На рис. 3 приведена осциллограмма режима включения на рекуперацию тяговых двигателей электровоза Н8 при последовательно-параллельном соединении двигателей и параллельном соединении независимого возбуждения возбудителей. Как видно, здесь затухающие колебания тока двигателей (I группа — пунктирная линия, II группа—сплошная) с переходами из тормозного в тяговый режим и обратно протекают длительно.

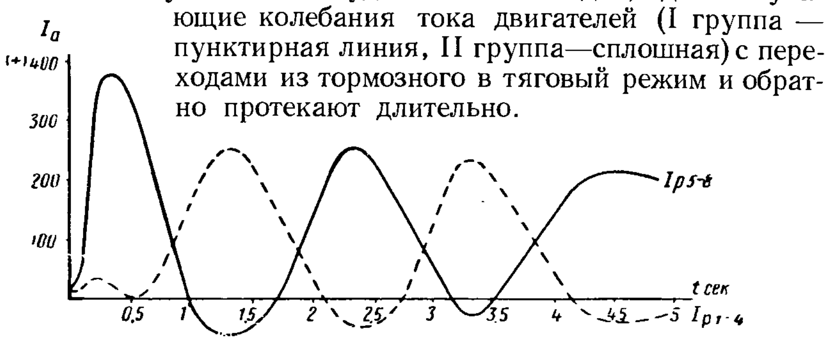


Рис. 3. Кривые тока рекуперации электровоза Н8 при $V = 50$ *км/ч*; $U_с = 3\,000 - 3\,200$ *в*:

$I_{р1-4}$ — ток рекуперации двигателей 1—2—3—4; $I_{р5-8}$ — ток рекуперации двигателей 5—6—7—8; + — генераторный режим; — — тяговый режим

На рис. 4 приведена осциллограмма аналогичного режима при последовательном соединении независимого возбуждения возбудителей. В этом случае колебания затухают быстро, после чего система переходит в установившийся режим работы.

Режимы нагрузки тяговых двигателей электросекций характеризуются частыми остановками и пусками и малым временем движения с током, составляющим 20—30% от общего времени движения. Нагрузка колеблется в пределах 0,8—1,1 от номинальной ($I_н$). Оборудование электросекций с электрическим торможением работает под током несколько больше.

Электродвигатели вентиляторов служат для привода вентиляторов, охлаждающих тяговые двигатели и пусковые сопротивления, и в ряде случаев генераторов цепей управления. Движение локомотива с выключенными электродвигателями вентиляторов обычно не производится.

В соответствии с этим нормальным режимом работы электродвигателей вентиляторов является длительный. Пуск этих машин сопровождается резкими бросками тока, достигающими семикратного значения установившегося тока.

Электродвигатели компрессоров работают в режиме повторнократковременных включений с частотой включений и длительностью работы, определяемыми потребностью состава в сжатом воздухе и режимом ведения поезда. Обычно рабочим считается 30%-ный режим, когда двигатель работает 30% времени. Наиболее тяжелым является редко встречающийся режим повторности включения ПВ—50% с циклом включения и отключения 5 *мин*.

При пуске электродвигателя компрессора броски тока достигают пятикратного значения по сравнению с установившимся током. Значительное количество пусков со столь большими токами определяет чрезвычайно жесткие требования к качеству коммутации этих электродвигателей, поэтому в некоторых случаях для облегчения работы при пуске применяют демпферные сопротивления.

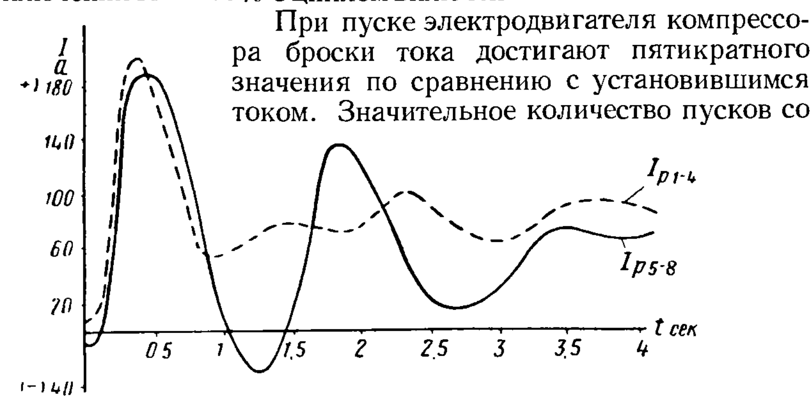


Рис. 4. Включенные на рекуперацию схемы электровоза Н8 при $V = 45$ *км/ч*; $U_c = 3\,000 - 3\,200$ *в*:

I_{p1-4}—ток рекуперации 1—4 двигателей; I_{p5-8}—ток рекуперации 5—8 двигателей; +—генераторный режим; ——тяговый режим

Мотор-генераторы, как правило, служат для обеспечения питания возбуждения тяговых двигателей в режиме рекуперации. В соответствии с этим эксплуатационные режимы работы их определяются применением рекуперативного торможения.

В зависимости от профиля, оборудования энергоснабжения, напряженности движения и т. д. время применения рекуперативного торможения может колебаться от 5 до 25% от общего времени движения. Вследствие этого режим работы мотор-генератора является кратковременным, причем максимальная длительность рекуперации обычно не превышает 30—40 *мин*.

Пуск мотор-генератора осуществляется через пусковую панель, имеющую две ступени сопротивления. В момент включения пусковой ток ограничивается полным сопротивлением панели. При снижении тока до величины уставки часть сопротивления закорачивается, что приводит к повторному броску тока. Оставшаяся часть сопротивления в дальнейшем выполняет роль демпфера. Величина максимального броска тока достигает 30-кратного значения по сравнению с установившимся током.

Силовая коммутирующая аппаратура имеет режим нагрузки,

определяемый работой тяговых двигателей, в цепи которых она установлена. Однако номинальные данные аппаратуры и тяговых двигателей различны. Это определяется уже тем, что силовая коммутирующая аппаратура имеет меньшую перегрузочную способность в тепловом отношении. Следует остановиться на работе линейных контакторов, которые производят разрыв силовой цепи как на первых позициях при введенных реостатах, так и при движении на автоматической характеристике. В первом случае они разрывают цепь при сравнительно небольшом токе, равном 20—30% от номинального, и значительной индуктивности цепи, во втором — цепь разрывается при большом токе и малой индуктивности.

Большая индуктивность цепи при малых токах требует специальной отработки дугогасительного устройства аппарата, обеспечивающего гашение дуги без создания чрезмерных перенапряжений. Это требование не всегда обеспечивается дугогасительными устройствами, которые имеют хорошую эффективность при больших токах и малой индуктивности.

Поэтому в ряде случаев целесообразно обеспечить отключение линейных контакторов только при малых токах и значительной индуктивности цепи, снабдив их дугогасительными устройствами, отличными от других контакторов.

Пуско-тормозные сопротивления имеют режим работы, характеризующийся протеканием по ним тока при пуске и электрическом торможении локомотива. В период пуска и электроторможения сопротивления нагреваются, в период движения охлаждаются. В соответствии с этим работа сопротивлений зависит от частоты, интенсивности и длительности пусков и торможений.

При редких пусках и средней мощности подвижного состава целесообразно применение сопротивлений с большой теплоемкостью. Обладая значительной перегрузочной способностью при ограниченном времени пуска, эти сопротивления успевают нагреться до максимальной допустимой температуры, а затем за время движения остыть до практически холодного состояния. В качестве таких сопротивлений раньше широко использовались чугунные литые сопротивления типа СЖ.

Значительный вес, габариты и стоимость этих сопротивлений заставили искать другие конструкции. Вместе с этим для лучшего использования материала сопротивлений необходимо принудительное охлаждение.

Принудительное охлаждение сопротивлений осуществляется либо за счет отбора воздуха от вентиляционной системы тяговых двигателей (электровозы типов Н8, ВЛ23), либо за счет обдува встречным потоком воздуха электросекций, либо при помощи специальных вентиляторов. Обдув сопротивлений встречным потоком воздуха значительно осложняет их работу, так как при трогании локомотива интенсивность охлаждения незначительна.

В качестве сопротивлений, используемых с принудительным охлаждением, в настоящее время широко применяют сопротивления

типа КФ, выполненные из фехралевой ленты, намотанной на ребро на фарфоровые изоляторы.

В связи с резким снижением теплоемкости сопротивлений типа КФ по сравнению с сопротивлениями типа СЖ при пусках локомотива они работают в установившемся тепловом режиме при номинальной мощности.

Исследования, проведенные Центральной заводской лабораторией НЭВЗ, показали, что использование материала в сопротивлениях типа КФ также недостаточно высоко. Большая мощность при лучшем использовании материала может быть получена на бескаркасных ленточных сопротивлениях, которые следует считать более перспективным типом. Эти сопротивления обладают еще меньшей теплоемкостью, чем сопротивления типа КФ, и в соответствии с этим практически при перегрузках тяговых двигателей работают при установившихся тепловых режимах. В ближайшее время сопротивления подобной конструкции будут применены на электровозах.

Цепи управления. В соответствии с ВТУ НКЭП 559-45 оборудование цепей управления должно обеспечивать нормальную работу подвижного состава при снижении питающего напряжения до 60% от номинального, при этом в случае питания от аккумуляторной батареи допускают $U = 0{,}6\,U_н$, а в случае питания от генератора допускают $U = 0{,}8\,U_н$. Максимальная величина напряжения для питания цепей управления обычно устанавливается $U = 1{,}1\,U_н$.

В подавляющем большинстве случаев оборудование цепей управления работает при изменении напряжения в диапазоне 90—110%.

Электрооборудование, получающее энергию от источника, установленного на электроподвижном составе, работает в несколько других, более легких условиях. Система электроснабжения такого оборудования определяется свойствами привода главного генератора. В этом случае возможно осуществлять широкую регулировку напряжения главного генератора и тем самым изменять напряжение в силовой цепи. Пределы изменения напряжения главного генератора обычно устанавливаются от нуля до 1,2 номинального значения.

Характерной особенностью электроснабжения является его полная зависимость от системы регулирования напряжения на зажимах главного генератора. Особо следует подчеркнуть, что система регулирования определяет как установившиеся, так и переходные режимы работы электрооборудования.

Режимы нагрузки тяговых двигателей в этом случае аналогичны режимам нагрузки тяговых двигателей, получающих питание от контактной сети, в пределах максимальной мощности привода главного генератора. Главным отличием является сохранение постоянства мощности питания и низкая перегрузочная способность, определяющаяся свойствами привода главного генератора.

Переходные режимы тяговых двигателей определяются системой регулирования подвижного состава и в большинстве случаев представляют для них меньшую опасность, чем при питании от контактной сети.

Вспомогательные машины работают в установившихся длительных режимах, незначительно отклоняющихся от номинальных (электродвигатели вентиляторов, насосов и т. д.).

Электроснабжение оборудования цепей управления осуществляется от вспомогательного генератора, механически связанного с главным валом дизеля, что обеспечивает несколько бóльшую стабильность напряжения цепей управления.

Во всем остальном режимы работы аппаратуры цепей управления подвижного состава, получающего энергию от контактной сети и от источника, установленного на подвижном составе, аналогичны.

§ 3. Особенности работы тяговых двигателей выпрямительных электровсзов

Тяговые двигатели постоянного тока с последовательным возбуждением на электровозах переменного тока со статическими преобразователями имеют специфические режимы работы.

Вследствие того, что на выпрямительных электровозах применяют схемы двухполупериодного однофазного выпрямления, двигатель питается пульсирующим напряжением с частотой 100 *гц*. Максимальное прилагаемое к двигателю напряжение равно амплитудному значению напряжения вторичной обмотки трансформатора.

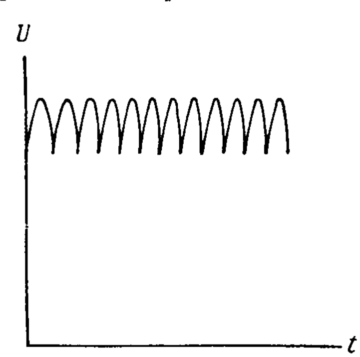


Рис. 5. Напряжение на тяговом двигателе выпрямительного электровоза

На рис. 5 представлена осциллограмма напряжения на зажимах тягового двигателя выпрямительного электровоза.

Величина эффективного значения напряжения, прикладываемого к двигателю, определяется характеристикой выпрямительного агрегата и зависит от нагрузки тягового двигателя. На рис. 6 приведена внешняя характеристика выпрямительного агрегата при номинальном напряжении на токоприемнике электровоза. Как следует из этой характеристики, при снижении нагрузки до 25% напряжение на зажимах двигателя повышается до 110%, а при повышении нагрузки до 150% напряжение снижается до 94%. Подобное изменение напряжения в зависимости от нагрузки определяется падением напряжения в элементах выпрямительной установки и параметрами контактной сети.

Подводимое к двигателю пульсирующее напряжение вызывает пульсацию тока, величина которой определяется индуктивностью вторичной обмотки силового трансформатора, сглаживающих реакторов, тяговых двигателей и т. д. Для уменьшения пульсации в схемах подвижного состава применяют сглаживающие дроссели постоянной и переменной индуктивности.

При пульсациях тока увеличиваются потери в меди обмоток, причем тем больше, чем больше эффективное значение пульсирующего тока по отношению к его среднему значению, и повышаются потери в стали. Для уменьшения дополнительных потерь пульсацию потока стремятся снизить шунтированием возбуждения активным сопротивлением.

Как известно, качество коммутации определяется степенью уравновешивания э. д. с., возникающих в коммутирующей секции, изменением тока и потоком добавочных полюсов. Пульсирующий ток вызывает пульсацию потока главных и добавочных полюсов и усиливает реакцию якоря. В результате в коммутирующей секции возникают переменные э. д. с.: реактивная, коммутирующая и трансформаторная.

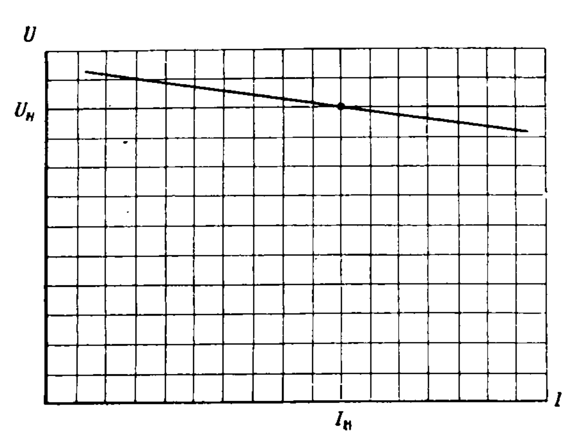


Рис. 6. Внешняя характеристика выпрямительного агрегата

Постоянные составляющие реактивной и коммутирующей э. д. с. компенсируют друг друга аналогично работе машины на постоянном токе. Переменные составляющие реактивной и коммутирующей э. д. с. ввиду различия параметров участков магнитопроводов, по которым замыкаются потоки, создающие эти э. д. с., направлены согласно и не компенсируют друг друга.

В результате э. д. с. не балансируется и достигает величины, которая существенно влияет на качество коммутации, особенно при малых нагрузках и больших скоростях движения.

Величина трансформаторной э. д. с. определяется степенью пульсации потока главных полюсов и может быть существенно снижена шунтированием их обмотки активным сопротивлением. Следует, однако, заметить, что при определенной степени ослабления поля постоянным шунтом трансформаторная э. д. с., находящаяся почти в противофазе с несбалансированной э. д. с., создаваемой переменными составляющими (реактивной и коммутирующей), может быть использована для ее компенсации. Это обстоятельство может быть использовано для улучшения качества коммутации.

Улучшение коммутации двигателей постоянного тока, работающих при пульсирующем напряжении, должно идти по пути снижения величины реактивной э. д. с., использования трансформаторной э. д. с. для компенсации несбалансированной переменной составляющей и уменьшения влияния вихревых токов на потоки в зоне коммутации.

ГЛАВА II

ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИСПЫТАНИЯ ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ТЯГОВОМ ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИИ

§ 4. Характеристики проводниковых материалов и их испытания

При изготовлении и ремонте тяговых электрических машин и аппаратов находят широкое применение следующие материалы.

Проволока прямоугольная медная марки МГМ, применяемая для изготовления катушек тяговых двигателей и некоторых вспомогательных машин и аппаратов; она поставляется по ГОСТ 434—53. Поверхность проволоки должна быть чистой и гладкой, углы закругленные. Допускаются местные цвета побежалости и потемнение на поверхности. Механические свойства проволоки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Размер меньшей стороны прямоугольника в *мм*	Предел прочности в *кг/см*² не более	Относительное удлинение в % не менее	Размер меньшей стороны прямоугольника в *мм*	Предел прочности в *кг/см*² не более	Относительное удлинение в % не менее
От 0,83 до 1,25 . . .	26	30	От 3,56 до 7	25,5	34
От 1,35 до 3,28 . . .	26	32	Более 7 . .	25,0	35

Провода медные обмоточные, поставляются по ГОСТ 6324—52. Для электрических машин применяют провода марок, приведенные в табл. 3.

Обмотка изоляции должна быть наложена на провод плотными равномерными рядами без ребристости, просветов и утолщений. При двуслойной обмотке направления повивов должны быть взаимно противоположными. Изоляция провода круглого сечения не должна давать просветов между отдельными нитками, а также разрывов отдельных ниток при навивании на круглый стержень диаметром, равным пятикратному диаметру изолированного провода, но не менее 3 *мм*.

Таблица 3

Марка проводов	Состав изоляции	Область применения
ПБД	Два слоя обмотки из хлопчатобумажной пряжи	Катушки вспомогательных машин электровозов
ПБОО	Один слой обмотки из хлопчатобумажной пряжи и оплетка из бумажной пряжи	Секции якорей вспомогательных машин
ПЭЛШД	Слой лакостойкой эмали и два слоя из натурального шелка	Секции якорей вспомогательных машин
ПЭЛШКД	Слой лакостойкой эмали и два слоя из капрона	Секции якорей вспомогательных машин

Проволока медная эмалированная марки ПЭЛ, поставляется по ГОСТ 2773—51 и применяется для изготовления катушек электроаппаратов.

Проволока должна иметь равномерное покрытие эластичным слоем изоляционной эмали без растрескивания и отслаивания как в состоянии поставки, так и после 24 *ч* пребывания в термостате в ненавитом состоянии при температуре 100—105°С с последующим растяжением при условиях, указанных в табл. 4.

Таблица 4

Марка проволоки	Номинальный диаметр проволоки по меди в *мм*			
	0,05—0,35	0,38—0,96	1,0—1,56	1,62—2,44
	Растяжение	Навивание 10 витков проволоки на стержень диаметром, кратным диаметру проволоки *d*		
ПЭЛ	До разрыва	3*d*	4*d*	5*d*

Электрическая прочность изоляционного слоя эмали определяется на равномерно скрученной проволоке (25 скруток по длине 200 *мм*). Пробивное напряжение при этом установлено для диаметра 0,25—0,51 *мм* — 800 *в*, для диаметра 0,53—0,80 *мм* — 900 *в* и для диаметра 0,83—1,35 — 1 000 *в*.

Провода медные обмоточные теплостойкие круглого и прямоугольного сечения марки ПСД и ПДА по ГОСТ 7019—54 и ПСДК по ВТУ МЭП ОАА 505024—52 применяют для изготовления секций якорей и катушек тяговых и вспомогательных машин.

Обмотка этих проводов выполнена из двух слоев бесщелочного стекла с подклейкой и пропиткой теплостойким лаком для марки ПСД и кремнеорганическим лаком для ПСДК и одного слоя дельта-асбестовой изоляции с подклейкой и пропиткой теплостойким лаком

для марки ПДА, должна быть наложена плотными равномерными рядами без просветов и утолщений, за исключением мест пайки или сварки проволоки и мест заправки концов обмотки. В этих местах допускается утолщение обмоток на длине не более 150 *мм*.

Слои стекловолокна на проводах марки ПСД и ПСДК должны быть наложены в разных направлениях. Пропитывающий состав на проводе марки ПДА не должен стекать при температуре +150°С. Изоляция провода в состоянии поставки и после нагрева в термостате в течение 24 *ч* при температуре 180°С для марки ПСДК, 160°С для марки ПСД и 150°С для марки ПДА при навивании на стержни не должна отслаиваться, давать трещины до меди и разрывов отдельных ниток и выдерживать пробивное напряжение не менее 500 *в* для марки ПСД и ПСДК и 400 *в* для марки ПДА.

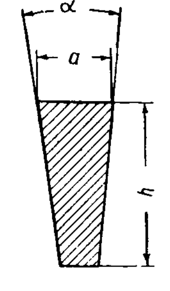


Рис. 7. Номинальные размеры поперечного сечения профиля коллекторной меди

Провода с резиновой изоляцией марки ПС и ПМУ применяют для изготовления выводных концов катушек электрических машин и поставляют по ГОСТ 6598—53.

Токопроводящая жила этих проводов должна быть изолирована резиной и обмотана лентой из прорезиненной ткани.

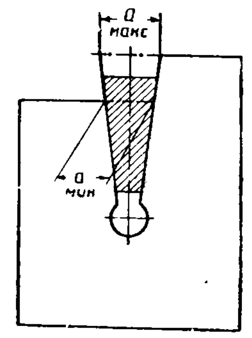


Рис. 8. Шаблон для коллекторной меди

В проводах марки ПС поверх обмотки должна быть наложена одна оплетка, а в проводах марки ПМУ — две оплетки из хлопчатобумажной пряжи, пропитанные противогнилостным составом. Материалы для проводов должны соответствовать: резина для изоляции типа РТИ-2 ГОСТ 2068—43; резина для шланга типа РТИ-1 ГОСТ 2068—43; пряжа хлопчатобумажная — ОСТ НКЛП 2120 и пропиточный состав — ГОСТ 3546—51.

Провод с изоляцией из кремнеорганической резины марки РКГМ-4000 применяют для изготовления выводных концов катушек электрических машин теплостойкого исполнения; поставляется он по временным техническим условиям кабельной промышленности (ТУ ОМХ 505-034-56).

Токопроводящая жила провода изолирована резиной на основе кремнеорганического каучука и обмотана лентой из резиностеклолакоткани, поверх которой наложена оплетка из стеклонити, пропитанной кремнеорганическим лаком.

Медь коллекторная полосовая холоднотянутая трапецоидального поперечного сечения применяется для изготовления коллекторов электрических машин и поставляется по ГОСТ 3568—47. Номинальные размеры поперечного сечения профиля коллекторной меди соответствуют рис. 7, где размер *a* должен выдерживаться по

4-му классу точности, а угол α между боковыми сторонами профиля — по шаблону. При этом боковые стороны профиля при проверке должны плотно прилегать к шаблону (рис. 8), который изготовляют с точностью 0,005 *мм*, и иметь толщину 4—5 *мм*. Твердость меди в состоянии поставки должна быть не менее 75 по Бринеллю.

Определение механической прочности проволоки прямоугольного сечения производится на разрывной машине ГМС-50 путем испытания не менее трех образцов длиной 200 *мм* до разрушения и вычисления предела прочности при растяжении σ в *кг/см²* по формуле

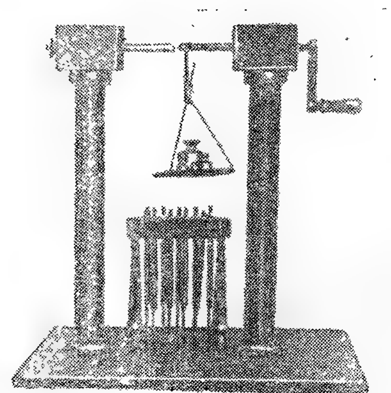


Рис. 9. Установка для определения эластичности эмалевого слоя

$$\sigma = \frac{P}{bh}, \qquad (4)$$

где P — величина разрушающей нагрузки в *кг*;

b — ширина образца до испытания в *см*;

h — толщина образца до испытания в *см*.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение трех измерений.

Определение эластичности эмалевого слоя производится для проводов диаметром от 0,05 до 0,35 *мм* методом растяжения до разрыва со скоростью не более 400 *мм/мин* на образце длиной 200 *мм*.

Для проводов большего диаметра это испытание выполняется методом навивания с натяжением (в *кг*), равным числу квадратных миллиметров площади сечения проверяемой проволоки. Установка для определения эластичности эмалевого слоя при навивании приведена на рис. 9.

Определение эластичности слоя изоляции теплостойких проводов круглого сечения производится навиванием 3—5 витков образца провода на гладкий стержень диаметром (для проводов ПСД и ПСДК), равным пятикратному диаметру изолированного провода, но не менее 3 *мм*; для провода марки ПДА этот диаметр принимается равным восьмикратному диаметру изолированного провода, но не менее 6 *мм*.

Испытание изоляции провода прямоугольного сечения производится изгибанием образца в трех местах на угол 180° широкой стороной вокруг гладкого стержня, диаметр которого должен соответствовать данным табл. 5.

Если при испытании установить возникновение трещин в изоляции наружным осмотром нельзя, то образцы провода ПСД после изгибания должны испытываться на пробой изоляции напряжением

Таблица 5

Номинальный размер провода по стороне *a* в *мм*	Марка провода		
	ПСД	ПДА	ПСДК
	Диаметр стержня в *мм*		Отношение диаметра стержня к размеру провода
0,9 —1,35	6	16	4
1,45—1,96	10	25	4
2,1 —2,83	15	35	5
3,05—3,53	20	40	5
3,8 —5,5	35	60	6

в графитовом порошке. Пробивное напряжение принимается не менее 50 *в* переменного тока частотой 50 *гц*.

Проверка качества пропитки изоляции провода марки ПДА на стекание должна производиться на образце длиной 150—200 *мм*, зачищенном с одного конца от изоляции на 20 *мм*. Образец подвешивают в термостате зачищенным концом вниз. После пребывания в термостате в течение 1 *ч* при температуре $+150\pm5°$ С и последующего охлаждения до комнатной температуры на зачищенном конце провода не должно быть следов вытекшего состава.

Определение пробивного напряжения проволоки медной эмалированной производится следующим образом: сбразец длиной 0,5 *м* складывают пополам, равномерно скручивают, разрезают в петле и концы ее разводят. К концам прикладывают напряжение переменного тока частотой 50 *гц* и плавно повышают его от нуля до пробивного значения. Длительность испытания не должна превосходить 30 *сек*.

Образцы проводов медных обмоточных теплостойких для испытания помещают в заземленную ванну с металлическими шариками диаметром 2—3 *мм*. Концы их выводят наружу на расстояние 75—100 *мм*. К зачищенному от изоляции концу провода подают напряжение переменного тока частотой 50 *гц* и плавно повышают его от нуля до пробивного значения.

§ 5. Характеристики магнитных материалов и их испытания

В основном из этой группы материалов используют стали.

Сталь электротехническую тонколистовую горячекатаную марок Э-11, Э-12, Э-21, Э-31 и Э-41 и холоднокатаную марок Э-310, Э-320 и Э-330 применяют для изготовления листов якорей и полюсов электрических машин и поставляют по ГОСТ 802—54. Стали Э-11 и Э-12 слаболегированные и содержат кремния 0,8—1,8%; сталь Э-21 среднелегированная, содержит кремния 1,8—2,8%; сталь Э-31 повышеннолегированная, она содержит кремния 2,8—3,8% и сталь Э-41 высоколегированная с содержанием кремния 3,8—4,8%.

Толщина листов сталей марок Э-31 и Э-41 0,35 и 0,5 *мм*, а ширина и длина соответственно от 600 × 1 200 до 1 000 × 2 000 *мм*. Стали марок Э-310, Э-320 и Э-330 холоднокатаные текстурованные, повышеннолегированные имеют толщину листов 0,5 *мм* при ширине и длине от 600 × 1 200 до 1 000 × 2 000 *мм*.

При испытании на хрупкость стали должны выдерживать определенное количество перегибов. Стали Э-11, Э-12 и Э-21 должны допускать без излома не менее 10 перегибов; сталь Э-31 при толщине 0,5 *мм* — не менее 4, а при толщине 0,35 *мм* — не менее 5; сталь Э-41 при толщине листа 0,5 *мм* должна обеспечивать прочность при 10 перегибах, а при толщине 0,35 *мм* — не менее 15.

Среднее удельное электрическое сопротивление для сталей марок Э-11 и Э-12 — 0,25 *ом·мм²/м*; Э-21—0,40; Э-31—0,5 и Э-41—0,6 *ом·мм²/м*.

Сталь электротехническую среднелегированную с пониженными удельными потерями марки ДНП применяют для изготовления сердечников якорей специальных машин; поставляется эта сталь по ТУУ2-40-56 Верхне-Исетского металлургического завода. Размеры листов при толщине 0,5 *мм* составляют 750 × 1 500, 860 × 1 720 и 1 000 × 2 000. Содержание кремния в этой стали 2,5—3,2%. Такая сталь при испытании на хрупкость должна выдерживать не менее 7 перегибов.

Значения удельных намагничивающих сил (н. с.) и удельных потерь основных марок сталей Э-12 и Э-21, применяемых для изготовления листов якоря, приведены в табл. 6.

Таблица 6

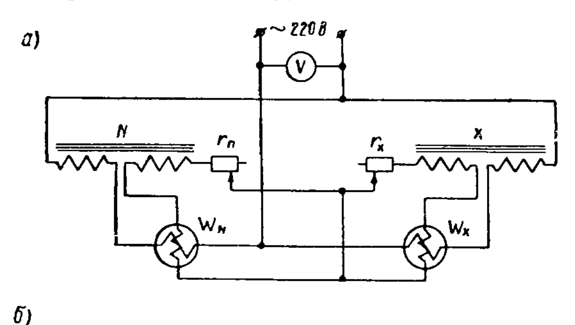
Марка стали	Толщина в *мм*	Н. с. в *гс* при напряженности магнитного поля *ав/см* не менее				Удельные потери в *вт/кг* не более	
		B_{25}	B_{50}	B_{100}	B_{300}	$P_{10/50}$	$P_{15/50}$
Э-12	0,5	14 900	16 100	17 400	19 600	2,8	6,8
Э-21	0,5	14 800	15 900	17 300	19 400	2,5	6,1
ДНП	0,5	14 800	15 400	17 300	19 400	2,1	4,5

В табл. 6 B_{25}, B_{50}, B_{100} и B_{300}—н. с. в *гс* на основной коммутационной кривой намагничивания при напряженности магнитного поля в 1 *ав/см*, равной соответствующему индексу при букве B; $P_{10}/_{50}$ и $P_{15}/_{50}$ — полные удельные потери в *вт* на 1 *кг* стали при перемагничивании ее с частотой 50 *гц* и при максимальных значениях индукции 10 000, 15 000 *гс*, соответственно отнесенных к синусоидальному изменению индукции.

Основным видом испытаний сталей является определение их удельных потерь и снятие кривых намагничивания.

Испытания производят дифференциальным методом, который основан на принципе сравнения испытуемого и эталонного образцов

согласно схеме рис. 10. Постоянно смонтированная часть схемы на рис. 10,*б* показана сплошными линиями, часть схемы, которая собирается временно для испытания каждого образца, показана пунктиром. Для проведения эксперимента необходимо:



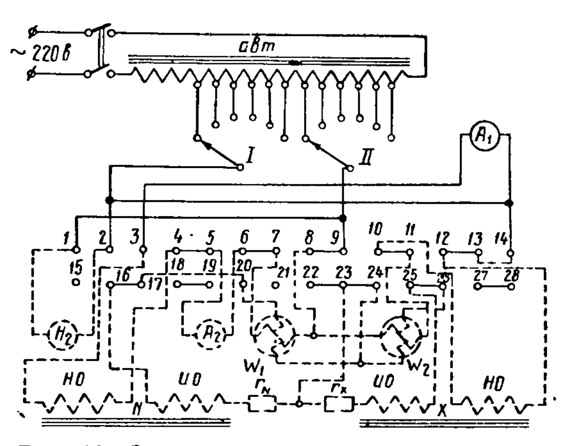


Рис. 10. Схема измерений дифференциальным методом:

а — принципиальная; *б* — монтажная; *N* — нормальный образец; *x* — испытуемый образец; r_N и r_x — сопротивления типа КСМ-6; W_N и W_x — электродинамические ваттметры; *авт* — автотрансформатор; *I* и *II* — переключатели отпаек автотрансформатора

испытуемый и эталонный образцы весом 10 *кг* и сечением 30 × × 30 *мм* заложить в аппарат Эпштейна; намагничивающие обмотки аппарата *I* подключить к клеммам *3—4*, а *II*— к клеммам *10—12* (параллельно источнику питания); последовательно в цепь каждого аппарата включить токовые обмотки ваттметров к клеммам *7*, *8*, *11* и амперметр к клеммам *5—6*; измерительные обмотки аппаратов следует включить последовательно с r_x и r_N к клеммам *16—25* параллельно вольтметровым обмоткам ваттметров и параллельно между собой. На магазинах КСМ-6, т. е. на r_x и r_N, надо установить сопротивления, соответствующие удельным потерям 10 000 *P вт/кг*. Если потери в испытуемом и эталонном образцах одинаковы, то сопротивления r_x и r_N также должны быть одинаковы и показания ваттметров W_x и W_N будут однозначными. Если потери в испытуемом и эталонном образцах разные, то, регулируя r_x, добиваются одинаковых показаний ваттметров и делением r_x на 1 000 получают непосредственно величину удельных потерь в испытуемом образце в *вт/кг*.

Величина н. с. в *гс*, при которой производятся измерения, вычисляется по формуле

$$B_{\max} = \frac{U_1 \cdot 10^8}{4kf W_1 S_N}, \tag{5}$$

где U_1 — напряжение на зажимах намагничивающей обмотки в *в*;
kf — коэффициент формы кривой;
W_1 — число витков намагничивающей обмотки;
S_N — сечение образца в *см²*.

При испытаниях сечение и вес испытуемого и эталонного образцов должны быть одинаковы, число витков в измерительной и намагничивающей обмотках аппаратов также одинаково, т. е. $W_1 = W_2$.

§ 6. Характеристики слюдосодержащих материалов

Наибольшее распространение в производстве тягового электрооборудования нашли следующие слюдосодержащие материалы.

Слюда — естественный минерал, характеризующийся способностью расщепляться на очень тонкие листочки с ровной поверхностью. Из большого числа минералов этой группы важное промышленное значение имеют мусковит и флогопит. По химическому составу мусковит является калиево-натровой слюдой, а флогопит магнезиально-железистой с температурой плавления соответственно 1260 и 1270°.

По твердости флогопит разделяется на твердый, полумягкий и мягкий, а мусковит не классифицируется.

Физические свойства слюды приведены в табл. 7.

Таблица 7

Вид слюды	Гигроскопичность в %	Водопоглощаемость в %	Плотность в *г/см³*	Теплоемкость в *кал/град*	Коэффициент теплопроводности в *кал/см сек·град*
Мусковит	0,18	2,2	2,7	0,2049	0,0011
Флогопит	0,24	2,7	2,8	0,2061	0,0013

Из механических свойств слюды интерес представляет прочность на сжатие, так как при изготовлении изолированных деталей необходимы многочисленные опрессовки.

Прочность на сжатие слюды различной площади приведена в табл. 8.

Таблица 8

Размер образца в *см*	Средняя прочность на сжатие в *кг/см²*	
	Мусковит	Флогопит
2×2	5 439	2 789
3×3	—	1 659
4×4	3 383	1 302

В изделиях прочность на сжатие значительно снижается в связи с увеличением площади.

Слюда является одним из основных материалов изоляции электрических машин и применяется в виде щипаной и обрезной шаблонной. Слюда щипаная поставляется по ГОСТ 3028—57 и имеет размеры, приведенные в табл. 9.

Таблица 9

Размеры	Площадь прямоугольника, вписываемого в контур пластинки, в *см*²	Толщина	
		Группа	Размер в *мк*
50	От 50 до 65	I и II	10÷20 20÷30
40	» 40 » 50		
30	» 30 » 40		
20	» 20 » 40		
15	» 15 » 20		
10	» 10 » 15		
6	» 6 » 10		
4	» 4 » 6	III	5÷35
0,5	» 0,5 » 4	IV	5÷45

В зависимости от характера поверхности и количества минеральных включений и минеральных загрязнений слюда подразделяется на сорта по признакам, указанным в табл. 10.

Таблица 10

Сорт	Размеры	Допускаемый % площади пластинок с минеральными включениями и загрязнениями	Характер поверхности
1	50, 40, 30 20, 15, 10, 6	Не более 10	Ровная, слабоволнистая
2	50, 40, 30, 20, 15, 10, 6	25	Ровная слабоволнистая, волнистая, морщинистая
3	50, 40, 30, 20, 15, 6, 4 и 0,5	50	То же

В слюде-мусковит не допускаются пластинки, имеющие магнетитовые пятна, снижающие напряжение поверхностного искрения между двумя электродами, установленными на расстоянии 10 *мм*, ниже 6 *кв*. Среднее пробивное напряжение устанавливается соответственно для мусковита и флогопита при толщине 15 *мкр* 2,2 и 1,8 *кв*, а при толщине 25 *мкр* — 4,0 и 3,2 *кв*.

Для нагревостойких изделий должна применяться особая слюда, которая по цвету и степени вспучивания соответствует эталонам

после нагрева до 250° для размеров 50, 40, 30, 20, 15, 10 и 5 и до 450° С при размере 4.

В производстве электролокомотивов обычно применяют слюду-флогопит I и II сорта с размерами 50, 40, 30, 20, 15 и 10 для изготовления микалент и шелко-слюдяной ленты и слюду-флогопит и мусковит с размерами 15, 10 и 6 для изготовления миканитов.

Слюда обрезная шаблонная представляет собой прямоугольные пластинки, вырезанные по шаблону из колотой слюды-флогопит или мусковит; ее называют шаблонкой.

Шаблонку толщиной 0,1 и 0,03 *мм* из флогопита применяют для изоляции углов секций тяговых двигателей. Шаблонка толщиной 0,03—0,07 из мусковита применяется для изоляции пальцев кронштейнов щеткодержателей. Применение для этих целей слюды-шаблонки флогопит вследствие ее мягкости исключается. Замена флогопита мусковитом для изоляции углов секции допускается.

К слюдосодержащим материалам относятся миканиты и микаленты. Миканиты разделяют на твердые, формовочные и гибкие.

Миканиты твердые изготовляют из щипаной слюды с прибавкой некоторого количества связующего вещества—глифталевой или шеллачной смол или минерального связующего аммофоса.

К твердым миканитам, которые характеризуются небольшой усадкой при значительных удельных давлениях, относятся коллекторный и прокладочный миканиты.

Миканит коллекторный применяют в электрических машинах в качестве изоляционного материала между пластинами коллектора. Основными требованиями, предъявляемыми к нему, являются: равномерность листов по толщине, однородная плотность по всей площади листа, малая усадка при давлениях 600 *кг/см*² и температуре 160°С, отсутствие выползания слюды и вытекания связующего состава при сжатии пластинок давлением 600 *кг/см*² при температуре 160°С. Поставляется коллекторный миканит по ГОСТ 2196—54 двух марок — КФ-1 и КФ с содержанием связующего вещества не более 4%. Первая марка имеет пониженную усадку.

Толщина коллекторного миканита бывает в пределах от 0,4 до 1,5 *мм*, а размеры листов не менее 215 × 465 *мм*. Для получения более равномерной толщины допускается фрезеровка листа с одной стороны.

Усадку коллекторного миканита замеряют в специальном приспособлении при температуре 20° С с повышением давления до 600 *кг/см*² (холодная усадка), с последующим замером при давлении 600 *кг/см*² с повышением температуры от 20 до 160° С (горячая усадка). Величины холодной и горячей усадок согласно ГОСТу допускают для марки КФ17 — 1,4% и для марки КФ9 — 2,5%.

Коллекторный миканит, изготовленный на различных связующих, имеет и различное соотношение горячей и холодной усадок. Так, миканит на шеллаке имеет меньшую горячую усадку, чем миканит на глифтале. Выступание связующего у шеллачного миканита незначительное, а у глифталевого обильное. Поэтому для тягового

электрооборудования в качестве межламельной изоляции рекомендуется миканит на шеллаке, как обеспечивающий отсутствие ослабления коллектора в процессе его эксплуатации.

Расслаиваемость миканита при порезке не должна быть более 10%; он не должен иметь токопроводящих включений; средняя электрическая прочность его должна составлять не менее 18 *кв/мм*.

Для тяговых машин теплостойкого исполнения применяют коллекторный миканит на аммофосе, который при общей усадке в 12% имеет незначительную горячую усадку, так как выступание смолы при запрессовке полностью отсутствует.

В качестве изоляционных прокладок в тяговом электромашиностроении применяют прокладочный миканит, поставляемый по ГОСТ 6121—52 двух марок ПМГ2 и ПФГ2 в листах размером 550×650 *мм* и толщиной 0,5 и 1,5 *мм*.

В наименовании марок буквы обозначают: П — прокладочный, М — мусковит, Ф — флогопит, Г — глифталевая смола, цифра 2— некалиброванный по толщине.

Среднее пробивное напряжение для миканита обеих марок толщиной 0,5 *мм* должно быть не менее 20 *кв/мм*. Миканит толщиной более 1 *мм* при испытании на пробой должен выдерживать напряжение 15 *кв/мм*.

Расслаиваемость миканита всех марок толщиной до 3 *мм* в состоянии поставки и через 3 месяца с момента отгрузки с завода-изготовителя не должна превышать 10%, а клеящего вещества должно содержаться в пределах 15—25%.

Для тяговых двигателей теплостойкого исполнения в качестве изоляционных прокладок применяют миканит прокладочный нагревостойкий марки ПФ2КА, который поставляется по ТУ-И-ОИИ-503-060-55. Здесь буквы обозначают: П — прокладочный миканит, Ф — флогопит, К — кремнеорганическое связующее, А — пониженное содержание связующего вещества, цифра 2 — прессованный некалиброванный.

В качестве связующего вещества для этого миканита применяют кремнеорганическую смолу К-40, отвечающую требованиям ВТУ МХП 4018-54. Расслаиваемость миканита в состоянии поставки не должна превышать 10%. Средняя пробивная напряженность электрического поля для миканита 0,5 *мм* должна быть не менее 20 *кв/мм*, а для миканита толщиной более 1 *мм* не менее 15 *кв/мм*. При этом для обоих значений минимальное пробивное напряжение в любой точке миканита должно быть не менее 75% среднего значения.

Миканиты формовочные изготовляют из щипаной слюды и некоторого количества связующего вещества, которым является глифталевая смола. Основным свойством их является способность в процессе нагрева размягчаться, принимать заданную форму и после запрессовки в пресс-формах и последующего охлаждения сохранять ее.

В тяговом электромашиностроении применяют формовочные миканиты как прессованные, так и непрессованные. Формовоч-

ный прессованный миканит поставляется по ГОСТ 6122—52 марки ФФГ2А толщиной 0,3 и 0,5 *мм*. В марке буквы обозначают: Ф — на первом месте — формовочный миканит, Ф—на втором месте — флогопит, Г — глифталевая смола, 2 — некалиброванный, А — содержание связующего в пределах от 8 до 14%. Отсутствие указанной буквы указывает на содержание связующего вещества в пределах от 14 до 20%. Этот миканит должен сохранять спсссобность к формовке в нагретом состоянии в течение трех месяцев со дня отправки с завода-изготовителя.

Электрическая прочность миканита толщиной 0,3 и 0,5 *мм* должна быть не менее 27 *кв/мм*. Содержание слюды 85—92%, склеивающих веществ — 15—8% и летучих — не более 1%.

Прессованный формовочный миканит толщиной 0,3 *мм* марки ФФГ2А применяют для изготовления коллекторных манжет, цилиндров, фланцев, трубок и других деталей и изготовляют из слюды размером 30—20 и 15—10.

Для обеспечения нормальной работы коллекторов электрических машин коллекторные манжеты изготовляют при больших удельных давлениях. Для исключения «выползания» миканита при запрессовке температура размягчения глифталевой смолы должна быть не ниже 85°С, а содержание клеящих веществ в миканите — не более 14%.

Прессованный формовочный миканит толщиной 0,5 *мм* марки ФФГ2А изготовляют из слюды с размерами 10—6 и применяют для изоляции нажимных шайб.

Миканит формовочный непрессованный изготовляют по заводским техническим условиям ТУ НЭВЗ 2705 толщиной 0,3±0,05 *мм* и применяют для изолировки стержней тяговой аппаратуры. Листы такого миканита не должны иметь просветов, сквозных отверстий и посторонних включений. Пластинки слюды не должны отслаиваться, а распределение их и смолы должно быть равномерным. Содержание слюды в нем находится в пределах 90—80%, склеивающих веществ — 10—20% и летучих — не более 8%. Средняя электрическая прочность миканита не менее 25 *кв/мм*.

Миканит формовочный прессованный нагревостойкий марки ФФ2КА применяется для машин нагревостойкого исполнения и поставляется по ТУ-И-ОИИ-503-059—54. В качестве связующего в нем используют смолу кремнеорганическую К-40, отвечающую требованиям ВТУ МХП 4018—54.

В марках этого миканита буквы обозначают: на первом месте Ф— формовочный миканит, на втором месте Ф — флогопит, К — кремнеорганическое связующее; буква А указывает на пониженное содержание связующего вещества (5—10%); цифра 2 — миканит прессованный некалиброванный. Средняя электрическая прочность такого миканита 25 *кв/мм*.

Миканиты гибкие изготовляют из щипаной слюды и некоторого количества связующего вещества — масляно-глифталевого лака

Основным свойством гибких миканитов является их способность сохранять достаточную эластичность и гибкость при нормальной температуре. В тяговом электромашиностроении применяют миканиты гибкие для изолировки катушек полюсов, нажимных шайб якоря и пр. марок ГМС2, ГФС2 толщиной 03; 0,5 и 1 *мм*. В марках буквы обозначают: С — светлый масляно-глифталевый лак, цифра 2 — миканит прессованный. Содержание слюды в этих марках 90—75%, склеивающих веществ — 10—25%, летучих — не более 5%. Электрическая прочность для миканита марки ГМС2 25 *кв/мм* и марки ГФС2 20 *кв/мм*.

Стекломиканит гибкий нагревостойкий представляет собой гибкий в холодном состоянии листовой электроизоляционный материал, состоящий из слюды-флогопит, склеенной при помощи кремнеорганического лака с бесщелочной стеклотканью, покрывающей слюду с двух сторон. Он применяется для тяговых двигателей теплостойкого исполнения и поставляется по ГОСТ 8727—58 марки Г2ФКП толщиной 0,3 и 0,5 *мм*. В марке буквы обозначают: Г2 — стекломиканит, оклеенный с двух сторон, Ф — флогопит, К — кремнеорганический лак, П — нормальная электрическая прочность. Содержание в нем склеивающего вещества (смолы) должно быть в пределах 7,5÷15%, при этом соотношение органической и неорганической части склеивающего вещества должно составлять 1 : 1. Содержание слюды в стекломиканите толщиной 0,3 *мм* должно быть не менее 45%, а в стекломиканите 0,5 *мм* не менее 55%; летучих веществ независимо от толщины должно быть не более 2%. Пробивное напряжение для стекломиканита толщиной 0,3 *мм* устанавливается 3,8 *кв*, для 0,5 *мм* — 6,5 *кв*.

Стекломиканит должен допускать изгибание в холодном состоянии, сохраняя свою гибкость в течение 60 суток со дня отправки с предприятия-поставщика.

Стеклослюдинит гибкий представляет собой новый электроизоляционный материал, изготовленный из одного или нескольких слоев слюдинитовой бумаги, склеенных при помощи теплостойкого лака ЭФ-5 и оклеенных с двух сторон стекломарлей 0,04 *мм*. Он применяется в некоторых случаях как заменитель гибкого миканита. Величина электрической прочности стеклослюдинита гибкого представлена в табл. 11.

Таблица 11

Наименование материалов	Толщина в *мм*	Электрическая прочность в *кв/мм*					
		До перегиба			После перегиба		
		от	до	средняя	от	до	средняя
Стеклослюдинит гибкий	0,3	36,8	50	44,5	30,9	39,3	34,3
Стеклослюдинит гибкий	0,5	27	34	29,6	20	28	23,6

Микалента — гибкий в холодном состоянии электроизоляционный материал, состоящий из щипаной слюды, склеенной при помощи лака с бумагой или стеклотканью, покрывающий слюду с одной или обеих сторон.

В тяговом электромашиностроении применяют микаленту нескольких видов: одностороннюю микаленту толщиной 0,075 *мм* для изолировки отдельных витков секций; двустороннюю толщиной 0,13 *мм* для изолировки секций и катушек от корпуса; двустороннюю толщиной 0,1 *мм* для изолировки от корпуса секций двигателя электровозов Н8, ВЛ23, стекломикаленты толщиной 0,08 и 0,1 *мм* для изолировки отдельных витков секций тягового двигателя теплостойкого исполнения; стекломикаленты толщиной 0,13 *мм* для изолировки от корпуса секций и катушек тягового двигателя теплостойкого исполнения. Кроме этого, как разновидность микаленты применяют шелко-слюдяные ленты толщиной 0,1 и 0,13 *мм* для изолировки выводных концов секций.

Все виды микалент изготовляют ручным способом для обеспечения получения материала равномерной толщины с необходимым перекрытием пластинок без просветов в слюдяном слое.

Односторонние микаленты изготовляют в виде отдельных листов длиной до 1,5 *м* клейкой слюды на столах; двусторонние микаленты толщиной 0,13 и 0,1 *мм* изготовляют клейкой слюды на специальных микалентных машинах.

Микаленту 0,075 *мм* марки ЛЧФ1 изготовляют по заводским техническим условиям ТУ НЭВЗ 2701. Обозначение букв марки следующее: Л — лента, Ч — асфальто-масляный лак, Ф — слюда-флогопит, 1 — повышенная электрическая прочность. Отклонения по толщине допускают до ±0,01 *мм*.

Микалента должна содержать: слюды не менее 50%, бумаги не более 25%, склеивающих веществ 15—30% и не должна иметь посторонних включений, сквозных отверстий или просветов между пластинками слюды. Пробивное напряжение электрического поля должно быть не менее 20 *кв/мм*.

Микалента толщиной 0,1 и 0,13 *мм* производится следующих марок: ЛМЧ1, ЛФЧ1, ЛМС1, ЛФС1, где буквы и цифры обозначают: Л — микалента, М — мусковит, Ф — флогопит, Ч — масляно-битумный лак (черный), С — масляно-глифталевый лак (светлый), 1 — повышенная электрическая прочность.

Свойства изготовляемых микалент соответствуют ГОСТ 4268—48. Содержание слюды должно быть не менее 50%, бумаги не более 25%, склеивающих веществ 15—30%, летучих веществ не менее 6%. Микалента не должна иметь посторонних включений, сквозных отверстий и просветов между пластинками слюды. Предел механической прочности при растяжении микаленты при температуре 20±5° устанавливается для толщины 0,1 *мм* — 2,5 *кг/мм*^{2} и для толщины 0,13 *мм* — 2 *кг/мм*^{2}.

Среднее значение электрической прочности для микаленты ЛМЧ1 и ЛМС1 20 *кв/мм*, а для ЛФЧ1 и ЛФС1 18 *кв/мм*.

Микалента упаковывается герметически в металлические банки в виде роликов, которые должны быть плотно намотаны и могут разматываться свободно без повреждения бумаги и слюды. Хранить микаленту необходимо в сухом закрытом помещении при температуре плюс 10÷35° С.

Лента шелко-слюдяная толщиной 0,1 и 0,13 *мм* изготовляется по техническим условиям ОТН 503 200-ТУ и ТУ НЭВЗ 2700 в листах толщиной 0,1±0,02 *мм* и 0,13±0,02 *мм*. Эти ленты не должны иметь посторонних включений, сквозных отверстий или просветов между пластинками слюды, пластинки слюды не должны отслаиваться. Содержание слюды должно составлять не менее 50%, летучих от 3 до 8%, а пробивное напряжение электрического поля должно быть не менее 14 *кв/мм*.

Лента должна сохранять гибкость в холодном состоянии при температуре 20°С в течение 60 дней со дня изготовления.

Стекломикаленты 0,08 и 0,1 *мм* марки СЛФК изготовляют по заводской технологической инструкции ОТН 906.002. В марке буквы обозначают: С — стеклоткань, Л — лента, Ф — флогопит, К — кремнеорганическое связующее.

Среднее пробивное напряжение электрического поля в таких лентах не менее 10 *кв/мм*. Содержание связующих веществ от 15 до 20%, летучих веществ не более 2%.

Стекломикаленту С2ЛФК толщиной 0,13 и 0,15 *мм* применяют для корпусной изоляции секций и катушек двигателей нагревостойкого исполнения и поставляют по техническим условиям ТУОИИ 508-057-54. Здесь в марке буквы обозначают: С — стеклоткань, Л — микалента, Ф — флогопит, К — кремнеорганическое связующее, цифра 2 обозначает: микалента, оклеенная стеклотканью с двух сторон.

Микалента не должна иметь посторонних включений и сквозных отверстий. Содержание связующих веществ от 15 до 30%, летучих веществ не более 2%. Среднее пробивное напряжение электрического поля для микаленты должно быть не менее 10 *кв/мм*. Микалента должна сохранять гибкость в течение 60 дней со дня отправки с завода-изготовителя.

Стеклослюдинитовая лента толщиной 0,08 *мм* представляет собой гибкий в холодном состоянии электроизоляционный материал, состоящий из слюдинитовой бумаги, оклеенной с одной стороны стеклотканью 0,025 *мм* при помощи лака ЭФ-5. В отдельных случаях применяют как заменитель микаленты 0,075 *мм*, используемой для изоляции отдельных витков секций тяговых двигателей.

Электрическая прочность стеклослюдинитовой ленты составляет 28,5 *кв/мм*, прочность на разрыв 14 *кг/мм*^{2}. Аналогичные данные для микаленты толщиной 0,075 *мм* соответственно равны 24 *кв/мм* и 2,5 *кг/мм*^{2}.

§ 7. Испытания слюдосодержащих материалов

Испытания слюдосодержащих материалов в соответствии с ГОСТом разделяются на типовые и контрольные. Типовые испытания производят не реже одного раза в 3 месяца, а также при изменении применяемых материалов. Контрольным испытаниям подвергается каждая партия. Пункты, по которым производят контрольные испытания, указаны в ГОСТах. Основные из них следующие.

Определение толщины листа производят микрометром с ценой деления не более 0,01 *мм* в десяти точках, приблизительно равномерно расположенных по площади листа. Нижний подвижный диск микрометра (диаметром не менее 10 *мм*) должен быть расположен на одном уровне с выверенной гладкой и плоской поверхностью стола. Верхний подвижный диск микрометра должен быть расположен против нижнего диска параллельно последнему и находиться под нагрузкой $1 \pm 0,1$ *кг*. За среднюю толщину листа миканита принимают среднее арифметическое значение от измерений толщины в каждой из указанных точек.

Определение содержания летучих производится из образца весом около 10 *г* пробами, взятыми из четырех мест: из середины листа в двух местах и с краев (не ближе 50 *мм* к краю). Образец нарезают на кусочки размерами около 15×20 *мм*, помещают в фарфоровый тигель и взвешивают с точностью до 0,01 *г*. Образец в тигле высушивается до состояния постоянного веса при 105—110°С. За постоянный вес образца принимают такой, который при сушке в течение 1 *ч* изменяется не более чем на 0,1% первоначального.

Содержание летучих X_1 (в процентах) определяется по формуле

$$X_1 = \frac{C - C_1}{C} 100, \quad (6)$$

где C — вес образца до высушивания в *г*;

C_1 — вес навески после высушивания в *г*.

Определение содержания слюды производится на этом же образце, для чего тигель с высушенным образцом должен быть прокален в нагретой до 500—600° С муфельной печи не менее чем в течение 1 *ч*. Затем образец охлаждают в эксикаторе с хлористым кальцием до 20 ± 5°С и производят взвешивание с точностью до 0,01 *г*.

Содержание слюды X_2 (в процентах) определяют по формуле

$$X_2 = \frac{C_2}{C_1}(100 + p), \quad (7)$$

где C_2 — вес образца после прокаливания в *г*;

p — поправка на потерю веса слюды, равная 0,5% для слюды-флогопит и 1% слюды-мусковит.

Определение содержания склеивающего вещества X_3 (в процентах) производится по формуле

$$X_3 = 100 - X_2. \quad (8)$$

Содержание склеивающего вещества в гибком оклеенном миканите и в микалентах определяется по формуле

$$X_4 = 100\left(1 - \frac{C_3}{C_1}\right) - X_2, \qquad (9)$$

где C_3 — вес бумаги в образце, определяемый по весу 1 *м*² бумаги и по величине площади образца. (Вес 1 *м*² бумаги, использованной при наклейке, указан в паспорте миканита и микаленты.)

Содержание органической части склеивающего вещества X_5 в нагревостойких миканитах и микалентах определяется по формуле

$$X_5 = \frac{C_1 - C_2}{C_1} - p, \qquad (10)$$

где p — потери в весе слюды и стеклоткани при прокаливании, равные 0,7%.

Содержание слюды X_2 может быть найдено по формуле

$$X_2 = 100\left(1 - \frac{C_4}{C_1}\right) - 2X_5, \qquad (11)$$

где C_4 — вес стеклоткани в образцах в *г*, определяемый по весу 1 *м*² стеклоткани.

Содержание слюды, склеивающих и летучих определяют в двух образцах и за результат принимают среднее арифметическое значение.

Определение формуемости производится на образце миканита шириной 50 *мм* и длиной не менее длины окружности оправки. Диаметр оправки должен быть равен 50-кратной толщине листа, но не более 50 *мм*.

Образец миканита, нагретый до 110±10°С, быстро обертывают вокруг нагретой до той же температуры оправки, затягивают хлопчатобумажной лентой и выдерживают при этой же температуре в течение 15 *мин*. Затем образец охлаждают до 20±5°С, после чего ленту и оправку удаляют. В полученной таким образом трубке слюда не должна отставать, и миканит должен сохранять приданную ему форму не расслаиваясь.

Определение гибкости миканита в холодном состоянии производится после выдержки его в течение 4 *ч* при температуре 20±5°С и в течение 6 *ч* при 105±5° С с последующим охлаждением до 20° С. Образец используется шириной 50 *мм* и длиной не менее двукратной длины окружности оправки; диаметр оправки должен быть равен 100-кратной толщине образца.

Для испытания образец миканита огибают в один слой вокруг оправки. При этом слюда не должна отставать и миканит должен свободно изгибаться не расслаиваясь.

Определение расслаиваемости проводят разрезанием гильотинными ножницами листа миканита толщиной 0,4; 0,5; 0,6 *мм* на поло-

сы шириной 2 *мм*. Затем полосы разрезают этими же ножницами на прямоугольники размерами 20 × 20 *мм*, при этом допускается отслоение отдельных частичек лепестков слюды от поверхности образцов. Миканит толщиной от 0,7 до 1,7 *мм* разрезают первоначально на полосы шириной 40 *мм*, а затем на прямоугольники размером 40 × 20 *мм*.

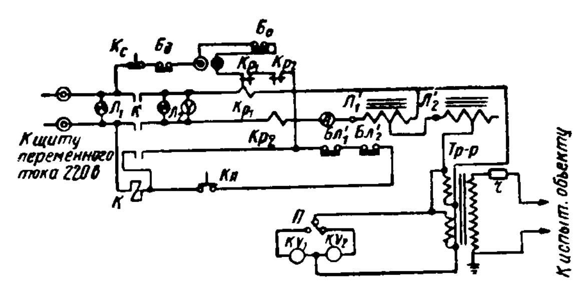


Рис. 11. Принципиальная схема установки для испытания твердых диэлектриков:

$Л_1$—лампа, сигнализирующая наличие напряжения на катушке контактора $К$; $К_с$—кнопка стоп; $К_п$—кнопка пуск; $Б_д$ и $Б_о$—механические блокировки двери и окна; $К_{р_1}$ и $К_{р_2}$—контакты реле максимального тока; $Л_2$—лампа, сигнализирующая подачу напряжения иа обмотку 220 *в* трансформатора; $Л'_1$ и $Л'_2$—лабораторные трансформаторы для плавиой регулировки напряжения; $Б'_{л_1}$ и $Б'_{л_2}$—контакты, блокирующие подачу напряжения на обмотку 220 *в* трансформатора при выведенных реостатах (латрах); KV_1 и KV_2—киловольтметры иа 20 и 60 *кв* для измереиия напряжения на обмотке 60 000 *в* трансформатора; $П$—переключатель киловольтметров; r—защитное сопротивление

Общее число пластин в обоих случаях должно быть не менее 50. При разрезке миканита подсчитывают процент распавшихся пластин.

Определение равномерности распределения смолы производится на образцах весом около 10 *г* из участков листа, где по внешнему виду имеется повышенное содержание смолы, и из участков листа, где по внешнему виду имеется ее пониженное содержание. Количественное содержание смолы определяют так же, как указано выше.

Определение электрической прочности производят на установке, выполненной по схеме рис. 11, оборудованной испытательным трансформатором с максимальным напряжением 60 *кв*.

Испытуемый образец помещают между двумя латунными электродами диаметром 50 ± 1 *мм*. Размеры электродов соответствуют рис. 12.

Рис. 12. Электрод

Включают кнопку пуск и с помощью латров $Л'_1$ и $Л'_2$ плавно повышают напряжение от нуля до пробивного значения. Скорость повышения напряжения должна составлять для материалов с пробивным напряжением до 20 *кв* — 1 *кв* в 1 *сек*, но не быстрее чем за 10 *сек*; для материалов с пробивным напряжением свыше 20 *кв* — 2 *кв* в 1 *сек*. За величину пробивного напряжения принимают его эффективное значение.

Электрическую прочность образца определяют в пяти точках и для каждой вычисляют прочность по формуле

$$E = \frac{U}{S}\ кв/мм, \qquad (12)$$

где U — эффективное значение пробивного напряжения в *кв*;

S — толщина образца в месте пробоя в *мм*.

Величина электрической прочности определяется как средняя из полученных значений.

Электрическую прочность микалент определяют на образцах, подсушенных в течение 1 *ч* при 105—110° С. При испытаниях образец длиной 1 *м* (для микаленты в роликах) подвергают проверке не менее чем в пяти местах по длине ленты. При этом применяют электроды в виде прямоугольных пластинок с закругленными краями, имеющими ширину 5 *мм*, длину 100 *мм* и высоту 9,5 *мм*; верхний электрод прижимается к образцу грузом в 2 *кг*.

Общий вид установки для испытания микаленты приведен на рис. 13.

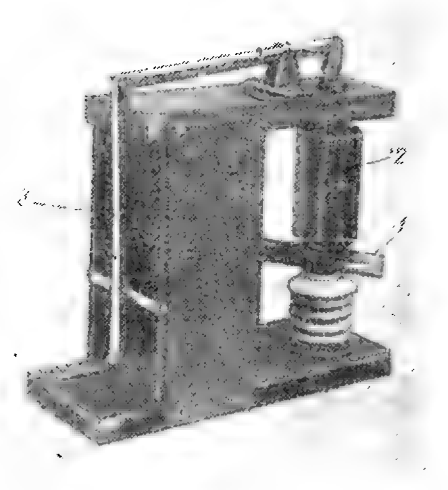


Рис. 13. Установка для испытания микаленты:

1 — электроды; *2* — груз 2 *кг*; *3* — рычаг, при помощи которого поднимается верхний электрод для помещения образца

§ 8. Характеристики волокнистых материалов

В производстве тягового электрооборудования наибольшее распространение получили следующие волокнистые материалы:

Бумага микалентная применяется при изготовлении микалент и поставляется по ГОСТ 6500—53 со следующими техническими данными: толщина 20±3 *мк*; средний разрывной груз, выдерживаемый полоской шириной 15 *мм*, в продольном направлении волокон 2,4, а в поперечном — 0,3 *кг*; удлинение в продольном направлении не менее 2,5%, зольность не более 1%; влажность не более 7%.

Бумага кабельная применяется в лакированном виде как часть составной изоляции стержней тяговой аппаратуры. Поставляется по ГОСТ 645—41 марки К-12.

Бумага телефонная применяется как вспомогательный материал при изготовлении прессованных деталей из миканита формовочного. Поставляется по ГОСТ 3553—47.

Ленты изоляционные хлопчатобумажные вырабатываются из хлопчатобумажной пряжи следующим переплетением: киперная — саржевым; тафтяная, миткалевая и батистовая — гарнитуровым. Применяются ленты для наружной бандажировки секций и катушек электрических машин и стержней тяговой аппаратуры. Поставляются по ГОСТ 4514—48.

Шнуры хлопчатобумажные (чулки) вырабатываются из суровой крученой хлопчатобумажной пряжи и поставляются по ТУ 1987-47 Министерства легкой промышленности.

Эксцельсиор — ткань из натурального шелка применяется при изготовлении шелко-слюдяных лент и поставляется по ГОСТ 2481—44 со следующими техническими данными: ширина 74 *см*; разрывное усилие полоски шириной 50 *мм* по основе и утку 10 *кг*; удлинение при разрыве по основе не более 8% и по утку не более 10%.

Подкладка суровая артикул 342 применяется в качестве чехлов обмотки якорей электрических машин и поставляется по ОСТ 30320—40 со следующими техническими данными: крепость полоски размерами 50 × 200 *мм* на разрыв по основе 65 *кг*, по утку 60 *кг*.

Шнур крученый льно-пеньковый диаметром 2,2 *мм*, марки ПК применяется для заполнения зазора между чехлом и буртом задней нажимной шайбы якорей тяговых двигателей и для крепления чехлов якорей вспомогательных машин, поставляется по ГОСТ 5107—49. Разрывная нагрузка соответствует 30 *кг*.

Картон электроизоляционный марки ЭВ толщиной 0,3 и 0,5 *мм* применяется в качестве подбандажной изоляции якорей электрических машин и прокладок в катушках вспомогательных машин и аппаратов. Поставляется по ГОСТ 2824—56 со следующими техническими данными для обеих толщин: предел прочности при растяжении в продольном направлении — 9 *кг/мм*^{2}, в поперечном направлении — 3,25; электрическая прочность после сушки — 11 *кв/мм* и после перегиба в продольном направлении — 8; зольность не более 1,5%; влажность не более 10%. Для повышения стойкости против воздействия влаги детали из картона пропитывают в льняном масле и в асфальто-масляном лаке.

Фибра листовая марок ФТ и ФЭ применяется в электромашино- и аппаратостроении и поставляется по ГОСТ 6910—54. Толщина фибры ФЭ 0,6—12 *мм*, а фибры ФТ 0,6—25 *мм*, причем до 8 *мм* фибра вырабатывается монолитной, от 8 до 12 *мм* — монолитной или клееной и свыше 12 *мм*—только клееной. Склеивание тонких листов фибры производится фенолформальдегидной смолой С-1. Технические показатели фибры следующие: предел прочности при растяжении в продольном направлении при толщине 0,6—25 *мм* 600—500 *кг/см*^{2}, в поперечном направлении при толщине 0,96—25 *мм* 400—300 *кг/см*^{2}. Электрическая прочность при 20° С при толщине 0,6—1,0 *мм* не менее 7 *кв/мм* и при толщине 2,2÷12—3,5 *кв/мм*. Водопоглощаемость за 24 *ч* при толщине 0,6—0,8 *мм* — 65% и при 13÷25 *мм* — 35%; влажность—10%; зольность — 1,5—2,0%.

Трубочная фибра марки ПР-1 применяется для плавких предохранителей и поставляется по ТУ 294—53 со следующими техническими данными: зольность не более 2,0%; влажность не более 10%; временное сопротивление разрыву вдоль оси не менее 300 *кг/см*^{2}; электрическая прочность поперек слоев при толщине стенки трубки 1,6÷3,0 *мм* 3 000 *в/мм* и при толщине 10,1÷15,0 *мм* — 1 000 *в/мм*.

Бумага бакелизированная применяется для изоляции валов и стоек тяговой аппаратуры и поставляется по ВТУ ОИИ 503-031—53. Количество растворимой бакелитовой смолы в ней должно быть не менее 30%; количество летучих не должно превышать 12%; среднее пробивное напряжение электрического поля не менее 6 *кв/мм*.

Лакоткани электроизоляционные марок ЛХ1, ЛХ2, ЛХМ, ЛХС и ЛШ1, ЛШ2, ЛШС1, ЛШС2 хлопчатобумажные и шелковые применяются для изоляции якорей, катушек и секций электрических машин и поставляются по ГОСТ 2214—46. Лакоткани для корпусной изоляции имеют косой срез. Основные марки лакотканей ЛХ1 и ЛШ1 классифицируются следующим образом: марка ЛХ1—хлопчатобумажная, нормальная с повышенными диэлектрическими свойствами, толщиной 0,2 *мм*. Водопоглощаемость лакоткани после 24 *ч* пребывания в воде для марки ЛХ1 — 8% и для ЛШ1 — 6%; предел прочности при растяжении и полное относительное удлинение лакоткани при температуре 20±5°С соответствуют табл. 12.

Таблица 12

Лакоткань	Толщина в *мм*	Предел прочности при растяжении в *кг/мм*²			Полное относительное удлинение при разрыве в %	
		по основе	по утку	по диагонали	по основе	по диагонали
Хлопчатобумажная	0,2	3,0	2,0	1,8	10	45
Шелковая	0,1	2	1,5	1,5	20	50

Пробивное напряжение лакоткани при температуре 20±5°С должно быть не менее указанного в табл. 13.

Таблица 13

Лакоткань	Толщина в *мм*	После выдержки в течение 18 *ч* при температуре 20 ± 5° С и относительной влажности воздуха 65 + 5% в *кв*				После сушки в течение 18 *ч* при температуре 100+2° С и после перегиба в *кв*	
		До перегиба		После перегиба			
		среднее	в отдельных точках	среднее	в отдельных точках	среднее	в отдельных точках
ЛХ1	0,2	5,6	1,7	3,6	1,2	2,8	1,1
ЛШ1	0,1	5,0	2,8	4,2	2,1	3,0	1,7

Стеклолакоткань светлая марки СЛТ-3 по ТУ ОИИ 503-063-55 представляет собой электроизоляционный материал, изготовленный из бесщелочной стеклоткани класса ЭСТБ, обрабо-

ганной масляным лаком. Применяется в качестве электроизоляционного материала в электрических машинах и аппаратах взамен хлопчатобумажной лакоткани ЛХ2. Буквы в наименовании марки обозначают: С — стекло, ЛТ — лакоткань, цифра 3 — стеклоткань толщиной 0,15—0,24 *мм*. Стеклоткань отвечает всем требованиям технических условий, обусловленных в ГОСТ 2214—46 «Лакоткань электроизоляционная» марки ЛХ2.

Ткань стеклянная марки ЭСТБ для электропромышленности применяется для изготовления стеклолакотканей и при изготовлении стекломикалент и стекломиканитов; поставляется по ГОСТ 8481—57 стекольной промышленностью. Переплетение ткани гарнитуровое; толщина 0,06—0,11 *мм*; прочность на разрыв полоски размерами 25 × 100 *мм* для толщины 0,06 *мм* по основе 19 *кг*, по утку 14 *кг*; для толщины 0,11 *мм* — по основе 22 *кг* и по утку 23 *кг*.

Лента стеклянная электроизоляционная вырабатывается из крученых стеклянных нитей малощелочного состава и применяется для наружного бандажа секций и катушек электрических машин; поставляется по ГОСТ 5937—56; переплетение ленты полотняное. Содержание замасливателя 3%; ширина 8÷50 *мм*; толщина 0,08÷÷0,25 *мм*, лента должна быть невоспламеняемой. Разрывная нагрузка на 10 *мм* ширины ленты при толщине 0,8 *мм* не менее 10 *кг* и при толщине 0,25 *мм* — не менее 23 *кг*.

Ткань стеклянная фильтровальная марки ТСФ (Б) применяется для чехлов в обмотках якорей и катушек двигателей теплостойкого исполнения. Поставляется по ВТУ № 252-54 стекольной промышленностью. Прочность на разрыв для полоски размерами 25 × 100 *мм* по основе 200 *кг* и по утку 150 *кг*.

Резиностеклолакоткань РСЛК-1 представляет собой эластичный электроизоляционный материал, изготовляемый из бесщелочной стеклоткани, пропитанной теплостойкими лаками. Применяется для межкатушечных соединений двигателей теплостойкого исполнения. Толщина ткани 0,11÷0,20 *мм*; предел прочности при растяжении для всех толщин не менее 5 *кг/мм*^{2}; электрическая прочность в исходном состоянии при толщине 0,11÷0,20 *мм* 2—5 *кв* и при температуре 200° С и той же толщине 2—4 *кв*.

Трубки линоксиновые марки А применяются для изоляции и защиты проводов и поставляются по ВТУ ОАА 503020-53. Внутренний диаметр трубок от 1 до 6 *мм* при номинальной толщине стенки от 0,7 до 0,9 *мм*. Цвет от желтого до коричневого; поверхность должна быть ровной, блестящей; лаковый слой не должен давать поперечных трещин при 10 перегибах трубок на 90° в обе стороны. Трубка должна выдерживать испытание на пробой напряжением 5 000 *в* в нормальных условиях. Водопоглощаемость трубок после 24 *ч* пребывания в воде не должна превышать 4%, при этом лаковая пленка не должна отставать от чулка.

Лента смоляная марки ЛН представляет собой хлопчатобумажную ткань, пропитанную битуминозным составом. Применяется

для подмотки изоляции проводов в местах вязки при монтаже остовов тяговых двигателей и высоковольтных камер. Поставляется по ВТУЭ-250-41. Толщина ленты 0,8—1,1 *мм*, ширина ролика 50—75 *мм*, водопоглощаемость не более 12%, временное сопротивление разрыву при 20° С на 1 *см* ширины не менее 7 *кг*, среднее пробивное напряжение 1,5 *кв/мм*.

Лента асбестовая электроизоляционная размерами 25 × 0,4 *мм* применяется в производстве секций якорей и катушек тяговых двигателей и поставляется по ТУ 147-Н. Сопротивление разрыву 10 *кг*, потери при прокаливании, включая конституционную воду, не более 32%.

Бумага асбестовая электроизоляционная толщиной 0,3 и 0,5 *мм* применяется в качестве витковой изоляции катушек полюсов тяговых двигателей и поставляется по ТУ 1218—51. Бумага не должна иметь посторонних включений, видимых на глаз, кусков дерева, минеральной породы и т. п. Содержание влаги не более 3%; потери при прокаливании не более 25%; пробивное напряжение при толщине 0,3 *мм* — 1 400 *в* и при толщине 0,5 *мм* — 2 000 *в*; разрывное усилие полоски шириной 15 *мм* при толщине 0,3 *мм* вдоль волокна — 2,2 *кг*, поперек волокна 0,8 *кг* и при толщине 0,5 *мм* вдоль волокна 3,0 *кг* и поперек волокна 1,4 *кг*. Для увеличения стойкости против воздействия влаги и электрической прочности бумагу применяют только в пропитанном виде. Пропитка производится асфальтомасляными лаками.

Картон асбестовый марки А представляет собой огнестойкий листовой материал. Применяется для изготовления уплотняющих шайб, поставляется по ГОСТ 2850—58 1-го сорта. Влажность составляет не более 4%; предел прочности при растяжении в одном направлении не менее 12 *кг/см*^{2}, а в перпендикулярном направлении не менее 6 *кг/см*^{2}. Картон не должен гореть или обугливаться. Потери при прокаливании не должны превосходить 15%.

Тальк молотый марки А представляет собой продукт механического измельчения горной породы талькита и применяется в качестве наполнителя изоляционных замазок. Поставляется по ГОСТ 878—52, 1-го и 2-го сорта.

Маршалит (пылевидный кварц) применяется как наполнитель в изоляционных замазках. Поставляется по техническим условиям ТУ Туктубаевского месторождения Челябинского рудоуправления. Содержание SiO_2 в маршалите 78—92%.

§ 9. Испытания волокнистых материалов

Для определения свойств волокнистых материалов их подвергают следующим испытаниям:

определение толщины производится аналогично определению, описанному в § 7;

определение предела прочности при растяжении и удлинения при разрыве производится на основе измерения разрывного усилия

на образцах при помощи машин типов РМП-50 и РМП-500. Длина образца между зажимами должна быть 200 *мм*, ширина принимается по ГОСТу или ТУ, скорость движения зажимов машины 50 *мм/мин*. Если разрыв образца произойдет у зажимов, испытание необходимо повторить.

Предел прочности при растяжении определяется по формуле

$$\sigma = \frac{P}{F} \ кг/см^2, \tag{13}$$

где P — величина разрывающей нагрузки в *кг*;

F — площадь поперечного сечения полоски (до разрыва) в *см²*.

Величина σ устанавливается как средняя из трех значений.

Удлинение определяется по формуле

$$\beta = \frac{l_1 - l}{l} \ 100\%, \tag{14}$$

где l_1 — длина образца после разрыва в *мм*;

l — первоначальная длина в *мм*.

Определение влажности производится аналогично определению летучих, как указано в § 7.

Определение зольности потерь при прокаливании производится на образце, высушенном до постоянного веса, который прокаливают в муфельной печи при температуре 600—700° С в течение 2 *ч*. По охлаждении в эксикаторе с хлористым кальцием до 20°С образец взвешивают.

Зольность определяется по формуле

$$a = \frac{C_2}{C_1} 100\%, \tag{15}$$

где C_2 — вес образца после прокаливания;

C_1 — вес образца после высушивания.

Потери при прокаливании составляют

$$B = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \ 100\%. \tag{16}$$

Определение электрической прочности производится по ГОСТ 6433—52. Схема установки и методика испытаний описаны в § 7. Определение электрической прочности лакоткани ведется под нагрузкой не менее 1 *кг*. Перед испытаниями образцы определенное время выдерживаются при повышенной и комнатной температурах. Время выдержки образцов указано в табл. 14.

Для определения электрической прочности после перегиба электрокартон однократно сгибают в продольном направлении на 180°С вокруг ребра линейки, толщина которой должна быть равна трехкратной толщине картона. Лакоткань электроизоляционную сгибают по направлению основы на 180° вокруг прокладки такой же

Таблица 14

Наименование образца	Температура среды в °С	Время выдержки в ч	Примечание
Картон электроизоляционный	100—105	2	Перед испытанием образцы охлаждаются до 20° С
Бумага асбестовая электроизоляционная	100—105	3	То же
Фибра листовая толщиной:			
от 0,6 до 3 *мм*	20	48	—
» 3,5 » 7,0 *мм*	20	72	—
» 8,0 *мм* и выше	20	96	—
Трубки фибровые	100—105	20	Перед испытанием образцы охлаждаются до 20° С
Лакоткань электроизоляционная	20	18	—

толщины, как и образец. По месту сгиба прокатывают валиком весом 2 *кг* так, чтобы ось валика была перпендикулярна к линии сгиба и чтобы линия сгиба приходилась приблизительно посередине длины валика. Выправив прокатанный образец, подвергают его испытаниям в десяти местах.

Определение электрической прочности трубочной фибры производят как поперек, так и вдоль слоев. В первом случае внутренним электродом служит металлический стержень длиной 25 *мм* с диаметром, меньшим диаметра трубки на 1 *мм*, с намотанной на него станиолевой обкладкой, плотно прилегающей к внутренней поверхности трубки. Наружным электродом служит станиолевое кольцо, помещенное на фибровую трубку согласно рис. 14, *а*. Во втором случае определение производится при помощи электродов, изображенных на рис. 14, *б*, которые прижимаются к трубке с силой 1 *кг*. Образцы трубок при определении электрической прочности не должны обнаруживать признаков разрушения в виде дыма, пара, искрения и т. д.

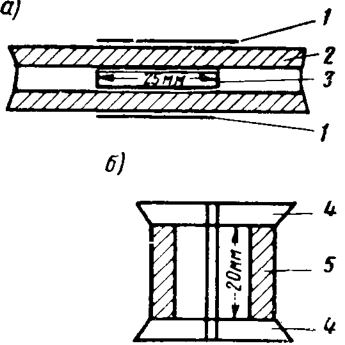


Рис. 14. Электроды для испытаний трубчатой фибры:
а — поперек слоев; *б* — вдоль слоев; *1* — станиоль; *2* — фибровая трубка; *3* — металлический стержень со станиолевой обкладкой; *4* — электрод; *5* — фибровая трубка

Определение электрической прочности смоляной ленты производят на образце ленты длиной 400 *мм*, которая наматывается с перекрытием на половину своей ширины на стальной стержень диаметром не менее 12 *мм* и длиной 400—500 *мм*, с натяжением 1 *кг* на 1 *см* ширины ленты. Намотанный на стержень образец подвергается испытанию на пробой в 5 точках, причем одним электродом является

стержень, а вторым полоски из станиоля, намотанные поверх смоляной ленты.

Определение водопоглощаемости лакоткани и фибры ведется на двух образцах размерами 100 × 50 *мм* каждый. Взвешенные образцы помещают в дистиллированную воду на 24 *ч* при температуре 20÷25° С. После этого с них при помощи фильтровальной бумаги удаляют влагу и взвешивают в сосуде с притертой крышкой. Образец перед помещением в сосуд должен находиться на воздухе в течение 3 *мин*.

Водопоглощаемость определяется по формуле

$$b = \frac{C_2 - C_1}{C_1} 100\%, \qquad (17)$$

где C_1 — вес образца до пребывания его в воде в *г*;

C_2 — вес образца после пребывания в воде в *г*.

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение двух различных параллельных определений.

Определение содержания хлористого цинка проводят на образце весом 4 *г* нарезанной сухой фибры; образец помещают в колбу, в которую заливают 75 *см*³ дистиллированной воды и кипятят ее в течение 30 *мин*. После оттаивания водную вытяжку сливают, а к фибре снова добавляют 75 *см*³ дистиллированной воды и снова кипятят ее в течение 30 *мин*. После этого повторная водная вытяжка сливается в ту же колбу, что и первая. По охлаждении полученного экстракта к нему добавляют 1 *см*³ пятипроцентного раствора хромовокислого калия и титруют сантинормальным раствором азотнокислого серебра до появления слабого кирпично-красного окрашивания.

Расчет ведется по формуле

$$ZnCl_2 = \frac{A \times 0{,}00068 \times 100}{P}, \qquad (18)$$

где A — число *см*³ раствора азотнокислого серебра;

P — навеска фибры воздушной сушки;

0,00068 — переводной коэффициент от азотнокислого серебра к хлористому цинку.

Определение растворимой бакелитовой смолы производится на образце бакелизированной бумаги размером 100 × 100 *мм*, который взвешивают с точностью до 0,001 *г*, затем погружают на 5 *мин* в химически чистый ацетон. После извлечения из ацетона и сушки на воздухе в течение 15 *мин* его снова взвешивают. При этом процент растворимой смолы определяется, как:

$$k = \frac{C_1 - C}{C_1} 100\%, \qquad (19)$$

где C_1 — вес образца в состоянии поставки;

C — вес образца после пребывания в ацетоне.

Ацетон можно заменить спирто-бензольной смесью в соотношении 1 : 1 (спирт применяют этиловый, ректификат), причем время выдержки бумаги в смеси увеличивается до 10 *мин*, а время сушки на воздухе до 25 *мин*.

§ 10. Характеристики электроизоляционных эмалей и лаков

Лаки пропиточные № 447 и 458 применяют для пропитки якорей электрических машин, катушек аппаратов, электрокартона, асбестовой бумаги, лент и др. Поставляют их по ГОСТ 6244—52. В случае загустевания лаки разбавляют до рабочей вязкости различными разбавителями, как ксилол, бензин-растворитель, бензин, сольвент.

При применении лаков для пропитки обмсток из проводов с эмалевой изоляцией разбавление их до рабочей вязкости производят скипидаром. Технические показатели лаков приведены в табл. 15.

Таблица 15

Показатель	Нормы для лака	
	№ 447	№ 458
Вязкость при температуре 20° С по вискозиметру ВЗ-4 в *сек* не менее	30	30
Содержание пленкообразующего вещества в лаке в % не менее	40	40
Время сушки лака в *ч* при температуре 105—110° С не более	6	3
Теплостойкость пленки в *ч* при температуре 150° С не менее	7	3
Водопоглощаемость пленки за 24 *ч* в % не более	1	1
Среднее пробивное напряжение электрического поля в *кв/мм* при температуре 18—20 С и толщине лаковой пленки 0,045—0,055 *мм* не менее	55	55
Среднее прсбивное напряжение электрического поля в *кв/мм* после действия воды в течение 24 *ч* при температуре 18—20° С и толщине лаковой пленки 0,045—0,055 *мм* не менее	22	20
Стойкость против разбрызгивания при температуре 150° С	Не разбрызгивается	
Пропитывающая способность лака не менее	30 слоев	

Лак пропиточный № 321 применяют для пропитки якорей электрических машин и поставляют по ТУ МХП 1331—49. В процессе пропитки лак разбавляют до необходимой вязкости ксилолом, бензином-растворителем или сольвентом.

Технические показатели лака приведены в табл. 16.

Лак электроизоляционный клеящий БТ-95 (бывший № 441) применяют для клейки микалент и поставляют по ГОСТ 8016—56. Разбавление его до рабочей вязкости производят сольвентом, ксилолом, скипидаром, смесью бензина-растворителя с указанными разбавителями в соотношении 1 : 1.

Таблица 16

Показатель	Нормы
Вязкость при температуре 20° С по воронке НИИЛК (сопло № 7) в *сек* не менее	10
Содержание пленкообразующего вещества в лаке в % не менее	40
Время сушки лака в *ч* при температуре 105—110° С не более	2
Среднее пробивное напряжение электрического поля в *кв/мм* при температуре 18—20° С и толщине лаковой пленки 0,045—0,055 *мм* не менее	55
Среднее пробивное напряжение электрического поля в *кв/мм* после действия воды в течение 24 *ч* при температуре 18—20° С и толщине лаковой пленки 0,045—0,055 *мм* не менее	15
Кислотное число в *мг* КОН не более	15

Технические показатели лака следующие: вязкость при температуре 20° С по вискозиметру ВЗ-4 15—35 *сек*, содержание пленкообразующего вещества не менее 38%, клейкость (отлип) пленки при температуре 105—110° С не менее 16 *ч*, теплостойкость пленки при температуре 150° С не менее 15 *ч*, пробивное напряжение электрического поля при толщине лаковой пленки 0,045—0,055 *мм* при температуре 20±5°С не менее 70 *кв*, после действия воды в течение 24 *ч* при температуре 20±5° С не менее 22 *кв*.

Лак изоляционный БТ-99 применяют воздушной сушки для покрытия катушек полюсов электрических машин и некоторых деталей тяговой аппаратуры и поставляют по ГОСТ 8017—56 со следующими показателями: вязкость при температуре 20° С по вискозиметру ВЗ-4 30—60 *сек*, время высыхания при температуре 18—22° С не менее 3 *ч*, содержание пленкообразующего вещества не менее 38%, теплостойкость пленки при температуре 105°С не менее 1 *ч*, пробивное напряжение электрического поля при толщине лаковой пленки 0,045—0,055 *мм* при температуре 20° С не менее 50 *кв*, а после действия воды в течение 24 *ч* при температуре 20±5° С 12 *кв*.

Лак изоляционный ГФ-95 (бывший № 1154) применяют в смеси с 3% меламино-формальдегидной смолы для клейки микалент и поставляется по ГОСТ 8018—56 со следующими характеристиками: вязкость при температуре 20° С по визкозиметру ВЗ-4 30—50 *сек*, содержание пленкообразующего вещества не менее 45%, кислотное число в *мг* КОН не более 12, время высыхания при температуре 105—110°С не более 2 *ч*, теплостойкость пленки при температуре 150°С 2 *ч*, пробивное напряжение электрического поля при толщине лаковой пленки 0,045—0,055 *мм* при температуре 20±5°С не менее 70 *кв/мм* и после действия воды в течение 24 *ч* при температуре 20±5° С не менее 20 *кв/мм*.

Лак изоляционный № 302 применяют для лакировки листов стали якорей и поставляют по ТУ МХП 1355—46 со следующими показателями: вязкость по ВЗ-4 при 18—20° С не менее 18 *сек*, про-

должительность высыхания на трансформаторной стали при 200—210° С не более 12 *мин*, содержание пленкообразующего вещества не менее 60%, сопротивление стандартного пакета не менее 500 *ом/см²*.

Глифталевая смола 1350 II группы применяется в виде раствора в спирто-бензольной смеси в отношении 1 : 1 в качестве клеящего лака и поставляется по ВТУ МЭСЭП ОАА 503-029-53 со следующими показателями: температура размягчения по Кремер-Сарнову 86—94° С, кислотное число в *мг* КОН не более 132, растворимость в спирто-бензольной смеси (1 : 1) не менее 94%.

В последнее время применяют новые термореактивные пропиточные составы, для пропитки якорей электрических машин и как промазочные при изготовлении катушек полюсов тяговых двигателей. Они хорошо просыхают в толстом слое, дают пленку, не размягчающуюся при повторном нагреве, что обеспечивает необходимую цементацию витков обмотки.

Электроизоляционные кремнеорганические лаки ЭФ-5 и ЭФ-3 применяют при изготовлении электрических машин теплостойкого исполнения и поставляют по ТУ МХП № 2300-53. В эти лаки перед употреблением вводят сиккатив № 64Б из расчета 6%. В зависимости от применяемого растворителя лаки маркируют следующим образом: лак ЭФ-5Т и ЭФ-3Т — растворитель толуол; лак ЭФ-5Б — растворитель бензин; лак ЭФ-3БС — растворитель смесь бензина со скипидаром. Технические показатели лака приведены в табл. 17.

Таблица 17

Показатель	Марки лаков			
	ЭФ-5Т	ЭФ-5Б	ЭФ-3Т	ЭФ-3БС
Содержание нелетучих в %	40	40	60	40
Высыхание на меди при 200° С не более в *ч*	2	2	1	1
Теплостойкость лаковой пленки на меди при 200° С не менее в *ч*	20	20	5	5
Пробивное напряжение пленки лака после запечки при 200 С в течение 6 *ч* для лака ЭФ-5 всех марок в *кв/мм* и 3 *ч* для ЭФ-3 всех марок в исходном состоянии (при температуре 20±5° С) не менее	50	50	50	50
при 200° С не менее	25	25	25	25
после действия 95% относительной влажности в течение 24 *ч* при 20±5° С не менее	25	25	25	25

Определение пробивного напряжения при температуре 200±±2°С производится в термостате, в котором пленка должна быть выдержана перед каждым пробоем при установившейся температуре 200±2° С в течение 5—10 *мин*.

Эмаль серая глифталевая дугостойкая печной сушки марки СПД применяется для покрытия якорей электрических машин после пропитки их в лаке № 447, чем достигается необходимая маслостойкость поверхности якорей. Поставляется эта эмаль по ТУ МХП 1526—47 со следующими данными: продолжительность полного высыхания пленки толщиной 0,04—0,06 *мм* при температуре 105±5° С не более 3 *ч*, водопоглощаемость пленки толщиной 0,04—0,06 *мм* после 24 *ч* пребывания в дистиллированной воде не более 5%, стойкость против разбрызгивания 100%, теплостойкость при 150°С не менее 10 *ч*, среднее пробивное напряжение до пребывания в воде не менее 30 *кв/мм* и после пребывания в воде в течение 24 *ч* при температуре 20° С — 10 *кв/мм*, дугостойкость не менее 4 *сек*.

Эмаль серая глифталевая дугостойкая воздушной сушки марки СВД применяется для покрытия панелей и деталей тяговой аппаратуры и внутренней поверхности остовов электрических машин. Поставляется эта эмаль по ТУ МХП 1527-49 со следующими показателями: продолжительность высыхания при толщине пленки 0,04—0,06 *мм* при температуре 20±2°С не более 24 *ч*, водопоглощаемость после пребывания в воде в течение 24 *ч* при температуре 18—20°С не более 8%, стойкость против разбрызгивания — полная, теплостойкость при 150° С не менее 1 *ч*, среднее пробивное напряжение до пребывания в воде не менее 30 *кв/мм* и после пребывания в воде в течение 24 *ч* при температуре 20° С не менее 8 *кв/мм*, дугостойкость не менее 4 *сек*.

Эмаль красная дугостойкая воздушной сушки марки КВД применяется для покрытия опрессованных стержней тяговой аппаратуры и выступающей части коллекторных манжет у коллекторов электрических машин. Поставляется эта эмаль по ТУ МХП 1525-49 со следующими данными: продолжительность высыхания при толщине пленки 0,04—0,06 *мм* при температуре 20±2°С не более 24 *ч*, водопоглощаемость после пребывания в воде в течение 24 *ч* при температуре 18—20° С не более 8%, стойкость против разбрызгивания — полная, теплостойкость при 150°С — 1 *ч*, среднее пробивное напряжение до пребывания в воде не менее 30 *кв/мм* и после пребывания в воде в течение 24 *ч* при температуре 20±2°С не менее 7 *кв/мм*, дугостойкость не менее 4 *сек*.

§ 11. Испытания изоляционных лаков, эмалей и смол

Определение вязкости производят при помощи вискозиметра ВЗ-4 емкостью 100 *мл*, с диаметром сопла 4±0,02 *мм* и высотой 4±0,1 *мм*.

Для этого лак тщательно перемешивают и оставляют в покое в течение 10 *мин*, чтобы вышли пузырьки воздуха. Вискозиметр (рис. 15) устанавливают на штативе, закрывают отверстие сопла шариковым клапаном и заполняют до краев лаком, доведенным предварительно до температуры 20°С. Под вискозиметр ставят сосуд и одновременно с подтягиванием шарикового клапана пускают секун-

домер. Секундомер останавливают в момент первого появления прерывающейся струи лака.

Время (в *сек*), пошедшее на истечение лака из вискозиметра, является показателем его вязкости. За результат принимают среднее арифметическое значение из двух параллельных определений, расхождение между которыми не должно превышать 5%, в противном случае определение повторяют.

Определение содержания пленкообразующих веществ производят следующим образом: около 2 *г* испытуемого лака взвешивают с точностью до 0,01 *г* и выливают в тарированную чашку диаметром 100 *мм*, которую, не покрывая, сушат до постоянного веса при температуре 100—105° С в случае асфальто-масляных лаков и при 150° в случае кремнеорганических лаков.

Рис. 15. Вискозиметр

Содержание пленкообразующих веществ вычисляется по формуле

$$X = \frac{(C_2 - C_3)\,100}{C_1 - C_3}\ \%, \qquad (20)$$

где C_1 — вес чашки с лаком в *г*;

C_2 — вес чашки с сухим составом в *г*;

C_3 — вес чашки в *г*.

Изготовление стандартных лаковых пленок. Для определения продолжительности высыхания на бумажном основании, теплостойкости, пробивного напряжения, водопоглощаемости и дугостойкости изготовляют стандартную пленку.

Процесс изготовления пленки следующий: для определения продолжительности высыхания высушенные полоски телефонной бумаги толщиной 0,05 *мм* с размерами 100 × 200 *мм* равномерно, со скоростью не более 350 *мм/мин*, погружают в лак при температуре 20±5°С, оставляют в нем в течение 1 *мин* и затем с такой же скоростью вынимают из лака. Консистенция лака подбирается такой, чтобы толщина лаковой пленки на каждой стороне была 0,02—0,03 *мм*. Перед погружением образцов лак должен отстояться до прекращения выделения пузырьков воздуха.

Для определения теплостойкости, водопоглощаемости и пробивного напряжения электрического поля берут калиброванный, тщательно отполированный, промытый в бензине и высушенный медный лист или пластинку. Этот лист погружают равномерно, со скоростью не более 350 *мм/мин*, в лак при температуре 20±5°С и затем равномерно, с такой же скоростью, извлекают из лака. После того как излишек лака стечет, медный лист (или пластинку) сушат в вертикальном положении в чистом воздухе при температуре 20±5 °С до тех пор, пока нажим пальцев не даст на пленке лака неуничтожающегося отпечатка. Для медленно сохнущих лаков подсушка может производиться при температуре 105±2° С. Высушенный обра-

зец переворачивают на 180° для того, чтобы получить равномерную толщину лаковой пленки, и снова погружают в лак, как было указано выше.

В случае испытания эмалей их наносят на медную пластину двукратным обливом на одну сторону и с поворотом на 180°.

Время сушки пленок перед определением теплостойкости, среднего пробивного напряжения, водопоглощаемости, стойкости против разбрызгивания и дугостойкости указано в табл. 18.

Таблица 18

Наименование лака	Температура сушки в °С	Время в ч при определении				
		теплостойкости	стойкости против разбрызгивания	среднего пробивного напряжения	водопоглощаемости	дугостойкости
№ 447	105—110	—	—	8	8	—
№ 458	105—110	—	—	6	6	—
БТ-99	105—110	—	—	0,25	—	—
БТ-95	105—110	—	—	24	—	—
ГФ-95	105—110	—	—	6	—	—
СПД	105—110	3	6	3	3	3
СВД	20	120	6	120	120	120
КВД	20	120	6	120	120	120

Определение продолжительности высыхания. Пленки лаков холодной сушки сушатся в чистом воздухе при температуре 20° С. Состояние образцов в процессе сушки проверяют путем сжимания их между указательным и большим пальцами. Если лак не прилипает к пальцам, то образец считается сухим. Когда образец станет сухим, его перегибают по длине до полного соприкосновения сторон и наблюдают, слипаются ли поверхности между собой. Если поверхности слипаются, то отмечается, что «лак с отлипом».

Продолжительность высыхания лака определяется промежутком времени с момента извлечения образца из сосуда с лаком до момента признания его сухим. За результат принимают среднее арифметическое значение продолжительности высыхания трех образцов.

Пленки лаков горячей сушки после извлечения из сосуда с лаком подсушивают на воздухе при температуре 20±5°С, пока нажим пальца не даст на пленке неуничтожающегося отпечатка, и затем сушат в шкафу при температуре 105±2° С. Кремнеорганические лаки сушат на медных листах при 200°С.

Состояние образцов в процессе сушки определяют по охлаждении до 20° С также сжатием между пальцами. Продолжительность высыхания образца определяется промежутком времени с момента помещения образца в шкаф до момента признания его сухим. За результат испытания принимают среднее арифметическое значение продолжительности высыхания трех образцов.

Определение теплостойкости ведут на образцах с размерами 250 × 150 *мм*, предварительно высушенных. Их разрезают на 10 полосок шириной 15 *мм* каждая. Для образцов применяют мяг-

кую, хорошо отожженную листовую медь толщиной 0,10 — 0,15 *мм*. Полоски помещают в нагретый термостат с температурой 105 ±2° С так, чтобы все они находились в совершенно одинаковых температурных условиях.

В тех случаях, когда испытание при температуре 105 ± 2°С требует много времени, допускается повышение температуры до 145÷150°С или даже до 175÷200°С. Температура, при которой производились испытания, должна указываться в стандарте или в технических условиях на лак.

Через 1, 2, 4, 8, 12 *ч* и затем через каждые 24 *ч* полоски последовательно (по одной полоске каждый раз) вынимают из термостата и по охлаждении

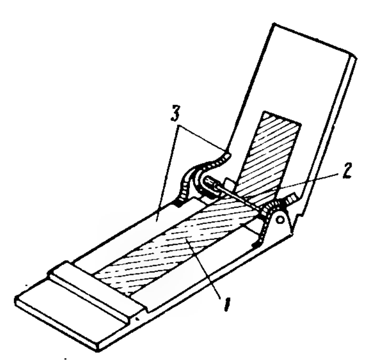
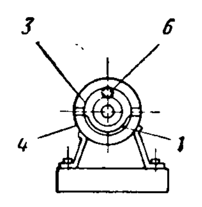


Рис. 16. Прибор для определения теплостойкости:

1 — лаковая пленка; *2* — металлический стержень диаметром 3 *мм*; *3* — металлические отшлифованные поверхности



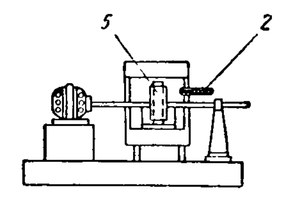


Рис. 17. Прибор для определения стойкости против разбрызгивания:

1 — бумага для обнаружения капелек лака; *2* — термометр; *3* — верхний нагреватель; *4* — нижний нагреватель; *5* — диск с лакированной лентой; *6* — защелка

до температуры 20 ±5° С изгибают на 180° вокруг металлического стержня диаметром 3 *мм*, как указано на рис. 16. Время сушки, после которого лаковая пленка дает при изгибе трещины, различимые сквозь лупу с пятикратным увеличением, является показателем теплостойкости испытуемого лака при данной температуре.

Определение стойкости против разбрызгивания проводится на миткалевой ленте, которую равномерно пропитывают испытуемым лаком по всей толщине (грунтовка лаком), сушат до отсутствия отлипа и после этого покрывают сверху слоем этого лака так, чтобы средняя толщина лаковой пленки достигла 0,10—0,15 *мм* (с одной стороны). Пропитку и покрытие производят методом погружения, эмаль наносят кистью. После нанесения лака на ленту образец подвергают холодной или горячей сушке согласно данным табл. 14. Температура и продолжительность сушки должны быть указаны в стандарте или в технических условиях на лак.

Пролакированную и высушенную ленту помещают в специальный прибор (рис. 17), служащий для испытания лаков на разбрызгивание. Этот прибор имеет металлический диск диаметром 180 *мм*, заключенный внутри нагревателя, у которого обе части — верхняя (съемная) и нижняя (несъемная) снабжены нагревательными элементами. Диск имеет защелку для закрепления ленты и приводится во вращение электромотором.

В нижней или верхней части нагревателя закрепляют белую писчую бумагу, служащую для обнаружения капель, отбрасываемых при испытании поверхностью вращающейся пролакированной ленты.

После закрепления ленты на диске прибор, предварительно нагретый до температуры испытания, закрывают, немедленно включают мотор и диск приводится во вращательное движение со скоростью 2 500 *об/мин*. Температура внутри прибора в течение всего испытания должна быть $105 \pm 2°$ С, если в стандарте или в технических условиях на лак не оговорена другая температура. Длительность испытания 1 *ч*. Каждое испытание должно быть произведено на двух образцах.

Лак признается выдержавшим испытания в том случае, если после их на бумаге не будет обнаружено капель, а на поверхности пролакированной ленты не образуется зубцов и конусов размягчившегося лака.

Определение водопоглощаемости лака производят нанесением его на две металлические пластинки площадью 50×50 *мм*, толщиной 0,1—0,2 *мм*, которые предварительно взвешиваются и подвергаются сушке. После сушки пластинки снова взвешивают и полностью затем погружают вертикально в стеклянный сосуд с дистиллированной водой.

Через определенные промежутки времени, указанные в стандарте или в технических условиях, образцы вынимают из воды, осушают между листами фильтровальной бумаги до исчезновения сырых пятен, немедленно помещают в закрытый сосуд и взвешивают. Взвешивание во всех случаях должно быть произведено с точностью до 0,001 *г*.

Водопоглощаемость лаковой пленки определяется по формуле

$$B = \frac{C_2 - C_1}{C_1 - C} \, 100\% , \qquad (21)$$

где C — вес металлического основания;

C_1 — вес высушенного образца с нанесенной на него лаковой пленкой;

C_2 — вес образца после действия воды.

За показатель водопоглощаемости лаковой пленки принимают среднее арифметическое значение результатов испытаний двух образцов.

Определение кислотного числа производят методом титрования и выражают в *мг* едкого кали (KOH), необходимых для нейтрализации свободных кислот, содержащихся в 1 *г* испытуемого лака.

Для определения кислотного числа лака его пробу около 1—2 *г* растворяют в 50 *мл* бензола или ксилола (в случае необходимости при растворении применяют нагревание) и затем добавляют в раствор 50 *мл* четыреххлористого углерода, смесь из 50 *мл* спирта и 10 *мл* дистиллированной воды и 2—3 *г* поваренной соли.

Полученный раствор при сильном взбалтывании титруют полунормальным водным раствором едкого натра (NaOH) в присутствии

фенолфталеина до тех пор, пока отстоявшийся верхний слой не примет красноватой окраски, сохраняющейся в течение не менее 2 *мин*.

Если потребуется больше 15 *мл* водного раствора едкого натра, то прибавляют еще 50 *мл* спирта, взбалтывают и продолжают титровать, пока не установится красноватое окрашивание. В конце титрования спирта в смеси должно быть вдвое больше по объему, чем воды.

Кислотное число определяется по формуле

$$X = \frac{ak \cdot 1\,000}{C}, \qquad (22)$$

где a — количество пошедшего на титрование водного раствора едкого натра в *мл*;
k — титр водного раствора едкого натра;
C — проба лака в *г* (взвешивание производят с точностью до 0,001 *г*).

Для определения кислотного числа глифталевой смолы берут ее пробу весом 1,5—2 *г* предварительно тонко измельченной. Пробу помещают в колбу и растворяют в 50 *мл* спирто-бензольной смеси (1 : 1). Раствор отстаивают в течение 30 *мин* в хорошо закрытой колбе, после чего к нему добавляют несколько капель фенолфталеина и титруют децинормальным спиртовым раствором едкого кали до слаборозового окрашивания. Одновременно производят титрование 50 *мл* спирто-бензольной смеси (так называемый «слепой» опыт).

Кислотное число вычисляется по формуле

$$K = \frac{(a - b)\,T \cdot 1\,000}{C}, \qquad (23)$$

где K — кислотное число;
a — количество *мл* КОН, пошедшее на титрование смолы;
b — количество *мл* КОН, пошедшее на титрование при «слепом» опыте;
T — титр спиртового раствора КОН;
C — проба в *г*.

Определение растворимости глифталевой смолы производится пробой весом в 3—5 *г*, которая растворяется в 30 *мл* спирто-бензольной смеси (1 : 1) при подогревании на водяной бане с обратным холодильником в течение 3 *ч*. Затем содержимое колбы фильтруют через высушенный и взвешенный фильтр и промывают спирто-бензольной смесью до тех пор, пока фильтр не станет бесцветным. Фильтр с осадком высушивают при 105°С до постоянного веса и рассчитывают процент нерастворимых по формуле

$$B = \frac{C - C_0}{C_1}\,100, \qquad (24)$$

где C — вес фильтра с осадком;
C_1 — навеска смолы;
C_0 — вес фильтра.

Определение температуры плавления глифталевой смолы производят по методу Кремер-Сарнова (рис. 18). Этот прибор состоит из двух стеклянных стаканов—наружного диаметром 80 *мм* и высотой 150 *мм* и внутреннего диаметром 60 *мм* и высотой 100 *мм*.

Внутренний стакан укреплен в наружном при помощи металлического диска и закрывается крышкой из фанеры или картона, в которой имеется три отверстия. В одно отверстие крышки вставляют термометр, а в остальные — трубки диаметром 6 *мм* и длиной 100 *мм*, которые укрепляют в крышке резиновыми колечками. В оба стакана наливают глицерин на высоту 50 *мм*.

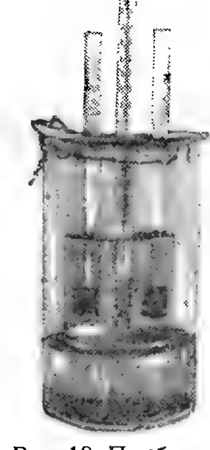
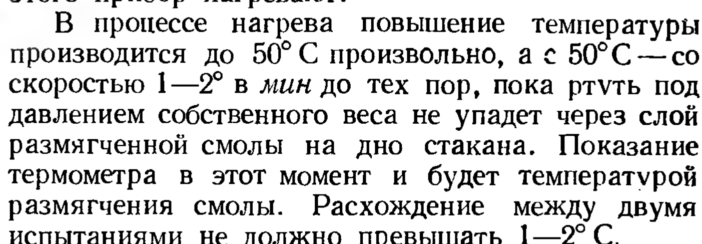


Рис. 18. Прибор Кремер-Сарнова для определения температуры плавления глифталевой смолы

Медные или стеклянные колечки с внутренним диаметром 6 *мм* и высотой 5 *мм* помещают на предварительно подогретую металлическую пластинку и наполняют порошком смолы, уплотняя ее стеклянной палочкой. Наполненные смолой колечки соединяют в стык при помощи каучуковых трубок со стеклянными трубками, после чего в стеклянные трубки наливают в каждую по 5 *г* ртути. Трубки вставляют в отверстия крышки таким образом, чтобы ртутный шарик термометра был на одном уровне с колечками, наполненными смолой, после этого прибор нагревают.



В процессе нагрева повышение температуры производится до 50° С произвольно, а с 50° С — со скоростью 1—2° в *мин* до тех пор, пока ртуть под давлением собственного веса не упадет через слой размягченной смолы на дно стакана. Показание термометра в этот момент и будет температурой размягчения смолы. Расхождение между двумя параллельными испытаниями не должно превышать 1—2° С.

Определение электрической прочности пленок осуществляется по схеме и методике, описанной в § 7. Один электрод соединяют с медной пластинкой, на которую нанесена пленка лака или эмали, а другой устанавливают на пленку. Электрическая прочность определяется в пяти точках. За результат принимают среднее арифметическое значение всех определений. Толщина пленки замеряется около места пробоя.

Определение пропитывающей способности лака производят с помощью прибора, изображенного на рис. 19. Этот прибор состоит из металлического основания *1* и верхней части, в которую входят плита *2* и трубка *3*. Верхняя часть прижимается к нижней барашками *4*. Трубка *3* предназначена для вливания лака, она имеет высоту 110 *мм* и внутренний диаметр 35 *мм*. На трубку навинчивается крышка *5*, имеющая три небольших сквозных отверстия. На нижнее основание прибора кладут стопку стандартного батиста № 288 (ГОСТ 8474—57) с размерами 100 × 100 *мм* в 50 слоев.

Плотно прижав верхнюю часть прибора к нижней, вливают в трубку *3* испытуемый лак при температуре 20 ±5° С до черты, находящейся на 10 *мм* ниже верхнего края трубки, чтобы высота столба лака была 100 *мм*. Нажатие верхней части прибора должно быть таким, чтобы исключить возможность просачивания лака из прибора поверх батиста.

Лак оставляют в соприкосновении с батистом в течение 15 *мин*, после чего выливают и прибор разбирают. Количество пропитанных лаком слоев батиста, устанавливаемое внешним осмотром, является показателем пропитывающей способности лака.

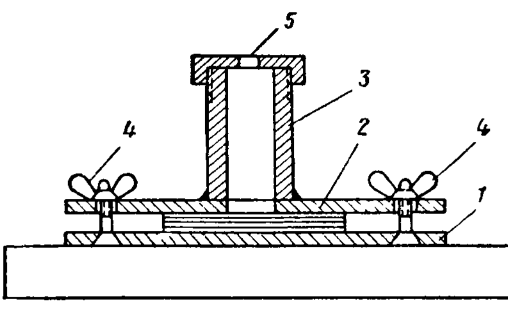


Рис. 19. Приспособление для определения пропитывающей способности лака

Слой батиста считается пропитанным, если следы лака обнаруживаются хотя бы с одной его стороны. Если при определении пропитывающей способности лака будет наблюдаться коагулирование основы и оседание ее на первых слоях, то это должно быть отмечено в протоколе. В некоторых случаях допускается замена батиста № 288 специальной пропиточной бумагой толщиной 32 *мкр* (ГОСТ 1941—44). При этом предварительными опытами должно быть установлено соотношение между количеством пропитанных слоев батиста и бумаги. Перед проведением испытаний батист или бумага должны быть выдержаны при температуре 20 ±5° С и относительной влажности 65—70% в течение 24 *ч*.

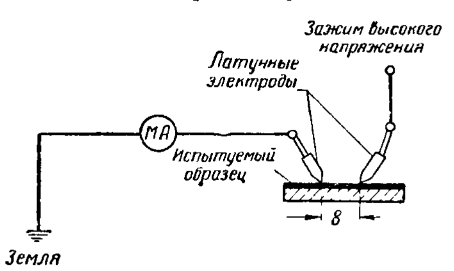


Рис. 20. Схема соединения электродов при испытании пленки эмали на дугостойкость

Определение времени высыхания лака АРБ в толстом слое ведется на образце весом 20 *г*. Проверяемая доза лака наливается в формочку размером 45×45× × 20 *мм*, изготовленную по шаблону из алюминиевой фольги толщиной 0,05—0,1 *мм*, и высушивается в течение 16 *ч* при 120° С. Высохший лаковый слой должен быть однородным, прозрачным, без вздутий, морщин и хорошо отделяться от алюминиевой фольги.

Определение дугостойкости эмалей производится на пленке, для чего их наносят двух-трехкратным обливом на карболитовый диск толщиной 3—4 *мм*. Перед нанесением пленки измеряют в двух-трех местах толщину карболитового диска, которую отмечают карандашом на его обратной стороне. После нанесения пленки и сушки в соответствии с техническими требованиями измеряют толщину

диска вместе с пленкой в местах прежнего замера. Толщина пленки после сушки должна быть равна 60—80 *мкр*. Дугостойкость карболитового диска без эмали должна быть в пределах 1,5—2,5 *сек*.

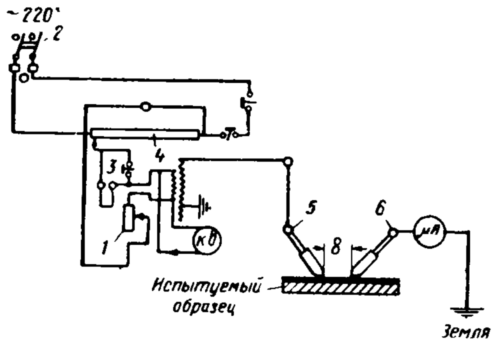


Рис. 21. Схема испытания пленки эмалей на дугостойкость

Для производства испытаний необходимо иметь повышающий трансформатор мощностью не менее 0,5 *ква*; миллиамперметр переменного тока с пределами измерений от 0 до 30 *ма*; прибор для испытания на дугостойкость со специальными латунными или вольфрамовыми электродами; секундомер.

Острия электродов должны быть зачищены и при испытании установлены таким образом, чтобы расстояние между ними было 8 *мм*. Один из электродов соединяют с зажимом высокого напряжения, другой (через миллиамперметр) с землей, как показано на рис. 20. В начале испытания острия электродов не должны касаться испытуемой поверхности и проводники не должны соприкасаться между собой и посторонними предметами.

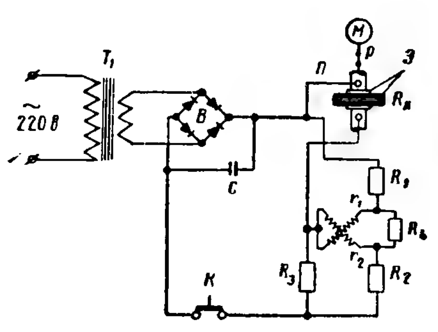


Рис. 22. Схема определения сопротивления изоляции лаковой пленки:

R_x — испытуемый образец; *П* — пресс для создания необходимого давления на испытуемый образец; *М* — манометр для замера давления *Р* на образец; R_1 — вращающая рамка логометра; R_2 — противодействующая рамка логометра; r_1 и r_2 — добавочные сопротивления в цепи вращающей и противодействующей рамки для температурной компенсации; R_4 — сопротивление для уменьшения цены деления на шкале логометра; R_3 — образцовое сопротивление; *С* — конденсатор сглаживающий 200 *мкф*; *В* — выпрямитель по мостиковой схеме на 4 *в*; T_1 — трансформатор понижающий 220/· *в*; *К* — кнопка нормально разомкнутая для включения логометра в момент измерения; *Э* — электроды ⌀35 *мм*

В соответствии со схемой рис. 21 испытания производят следующим образом: движок *1* устанавливают в правое крайнее положение, включают рубильник *2* и автомат *3*. Далее движок реостата *4* передвигают до тех пор, пока между электродами не появляется искровой разряд. Когда ток достигнет 10 *ма*, автомат *3* выключают, электроды *5* и *6* заостренными краями ставят на поверхность испытуемой пленки так, чтобы они с ней слегка соприкасались. Затем снова включают автомат *3* и одновременно включают секундомер. В момент затухания дуги, которым считается полное исчезновение пламени при наличии проводящей дорожки на пленке, секундомер останавливают и фиксируют его показание. Определение производят при температуре 18—20°С и токе 10 *ма*. Каждый образец испытывают

указанным способом не менее 10 раз. Среднее арифметическое значение этих результатов принимают за действительное время воздействия дуги на испытуемую поверхность.

Определение омического сопротивления изоляции лаковой пленки на электротехнической стали ведется не на стандартном пакете (как указано в технических условиях на лак 302), а непосредственно на лакированных листах якоря. Схема установки приведена на рис. 22. Испытания производятся следующим образом: пакет из 20 лакированных листов электротехнической стали зажимают под электроды пресса и устанавливают давление, равное 40 *кг/см*². Затем нажимают кнопку *К*, расположенную на корпусе логометра, и производят отсчет по шкале непосредственно в *ом*. Среднее омическое сопротивление пакета листов под электродами диаметром 35 *мм* и давлением из расчета 40 *кг/см*² должно быть не менее 40 *ом*.

Логометр имеет шкалу 30—90 *ом*, которая на рабочем участке 30—50 *ом* растянута для большей точности показаний. Погрешность логометра с учетом колебания напряжения сети, изменения окружающей температуры в условиях цеха соответствует классу точности 1,5.

§ 12. Характеристики слоистых пластиков и их испытание

Текстолит листовой электротехнический марки Б толщиной 2—3 *мм* применяется для изготовления деталей тяговой аппаратуры и клиньев крепления обмотки якорей тяговых двигателей и поставляется по ГОСТ 2910—54. Поверхность листа текстолита должна быть ровной и гладкой, без пузырей (воздушных или газовых) и токопроводящих включений. Основные технические данные текстолита представлены в табл. 19.

Таблица 19

Показатель	Норма
Предел прочности при статическом изгибе перпендикулярно к слоям в *кг/см*² не менее	1 200
Предел прочности при растяжении в *кг/см*² не менее:	
вдоль листа (по основе ткани)	650
поперек листа (по утку ткани)	650
Водопоглощаемость при температуре 20±2° С после 24 *ч* пребывания в дистиллированной воде для толщины 1 *мм* в *г/дм*² не более	0,6
Удельное объемное электрическое сопротивление для листов толщиной 30 *мм* в *ом·см* не менее	10⁹* 10⁸**
Удельное внутреннее электрическое сопротивление для листов толщиной 8 *мм* и более в *ом·см* не менее	10⁹* 10⁷**

* После выдержки при температуре 70±2° С в течение 4 *ч* с последующей выдержкой при температуре 20±5° С и относительной влажности 65±3% в течение не менее 6 *ч*.

** После выдержки в среде с относительной влажностью 95±3% при температуре 20±5° С в течение 24 *ч*.

Гетинакс электротехнический листовой марки В применяется для изготовления деталей тяговой аппаратуры и псставляется по ГОСТ 2718—54. Поверхность листа гетинакса должна быть ровной и гладкой, без пузырей (воздушных или газовых) и посторонних включений. Основные технические данные приведены в табл. 20.

Таблица 20

Наименование показателей	Нормы
Предел прочности при статическом изгибе перпендикулярно к слоям в *кг/см*² не менее	1 300
Предел прочности при растяжении вдоль листа в *кг/см*² не менее	1 000
Водопоглощаемость при температуре 20±2° С после 24 *ч* пребывания в дистиллированной воде в *г/дм*² не более .	0,6
Удельное объемное электрическое сопротивление в *ом·см* не менее	10^{10}*
Удельное внутреннее электрическое сопротивление для листов толщиной 8 *мм* и более в *ом·см* не менее	10^{9}*

* После выдержки при температуре 70±2° С в течение 4 *ч* с последующей выдержкой при температуре 20±5° С и относительной влажности 65±3% в течение не менее 6 *ч*.

Испытания текстолита и гетинакса производят на специальных образцах, изготовленных методом механической обработки.

Определение прочности при статическом изгибе производится по ГОСТ 4648—56. Для испытания листов толщиной более 10 *мм* образцы должны иметь форму бруска прямоугольного сечения с размерами сторон 10±0,2 и 15±0,2 *мм* и длиной 120±2 *мм*. При испытании слоистых материалов толщиной менее 10 *мм* длина и ширина образца должны соответствовать размерам, указанным в табл. 21, а толщина образца соответствовать фактической толщине листа испытуемого материала.

Таблица 21

Толщина листа в *мм*	Длина образца в *мм*	Ширина образца в *мм*	Расстояние между опорами машины в *мм*	Радиус закругления наконечника, передающего нагрузку, в *мм*
От 1 до 2	35±1,5	15±0,2	20±0,3	2
» 2,01 » 4	55±1,5	15±0,2	40±0,3	4
» 4,01 » 6	80±2	15±0,2	60±0,5	6
» 6,01 » 8	100±2	15±0,2	80±0,5	8
» 8,01 » 10	120±2	15±0,2	100±0,5	10

Испытания производят при температуре 18—22° С. В случае отклонения температуры помещения от указанной образцы для испытаний необходимо предварительно выдержать в термостате при температуре 18—22°С в течение 1 *ч*.

Для испытания служит машина, позволяющая производить измерения величины нагрузки на образец с погрешностью, не превышающей 1% от величины измеряемой нагрузки, и осуществлять скорость движения подвижной головки, которая определяется по формуле

$$V = \frac{al^2}{6h}, \qquad (25)$$

где l — расстояние между опорами в *м*;

h — толщина образца в *мм*;

$$a = 0{,}3\ \frac{1}{мин}.$$

Испытательная машина должна быть снабжена приспособлением, на которое укладывают испытуемые образцы. Ось наконечника, передающая усилие на образец, должна проходить через середину между опорами с точностью $\pm 0{,}5$ *мм*. Направление движения наконечника должно быть параллельно его оси и перпендикулярно оси образца.

Предел прочности при статическом изгибе (в *кг/см*²) вычисляют по формуле

$$B = \frac{3Pl}{2bh}, \qquad (26)$$

где P — величина разрушающей или максимальной изгибающей силы в *кг*;

l — расстояние между опорами в *см*;

b — ширина образца в *см*;

h — толщина образца в *см*.

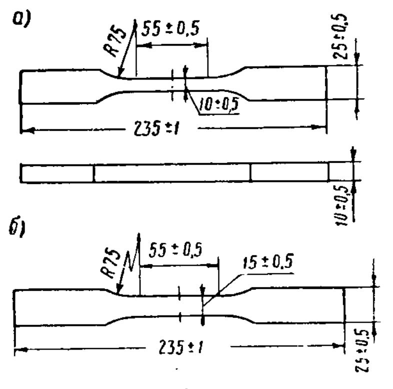


Рис. 23. Образец слоистых пластиков для испытания предела прочности при растяжении:

а — при толщине образца более 10 *мм*; *б* — при толщине образца менее 10 *мм*

Определение предела прочности при растяжении производят по ГОСТ 4649—55. Форма и размер образцов при испытании слоистых пластиков толщиной более 10 *мм* должны соответствовать рис. 23,*а*, а при испытании образцов толщиной менее 10 *мм* — рис. 23,*б*, для которого толщина образца равняется фактической толщине материала.

Для испытания образцов используют разрывную машину, позволяющую производить измерения величины нагрузки на образец с погрешностью, не превышающей 1%, и осуществлять постепенное нарастание нагрузки до разрушения образца. Скорость движения машины при холостом ходе находится в пределах от 10 до 20 *мм/мин*. Машина должна быть снабжена специальными зажимами, исключающими скольжение и перекос образцов в процессе испытания. Число образцов для испытаний в одном направлении должно быть не менее трех.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение всех определений. Вычисление предела прочности при растяжении σ в *кг/см²* производят по формуле

$$\sigma = \frac{P}{bh}, \qquad (27)$$

где P — величина разрушающей нагрузки в *кг*;
b — ширина образца до испытания в *см*;
h — толщина образца до испытания в *см*.

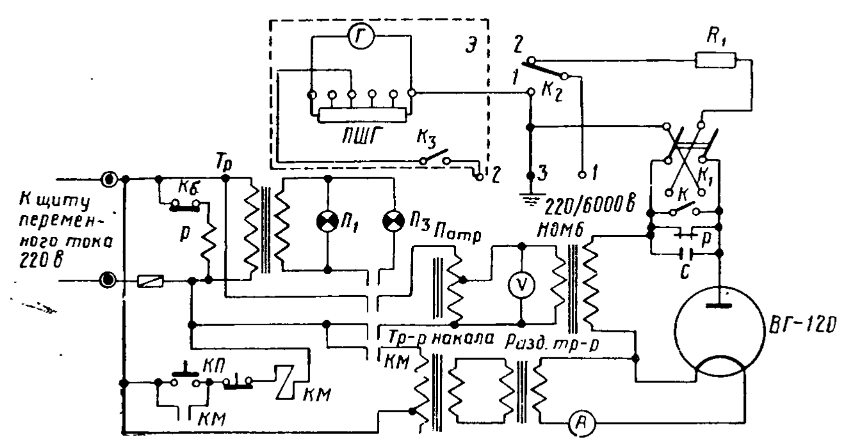


Рис. 24. Принципиальная схема установки для определения удельных сопротивлений изоляционных материалов:

КП — кнопка включения питания на установку; *КМ* — магнитный пускатель; *НОМ6* — трансформатор для питания анодной цепи газотрона ВГ-129; *С* — конденсаторы; *К* — кнопка разрядная; K_1 — переключатель полярности; K_2 — переключатель образца в измерительную цепь и на землю; K_3 — кнопка включения измерительной цепи; *ПШГ* — переключатель шунта гальванометра; *Г* — гальванометр; *А* — амперметр *V* — вольтметр; K_6 — блокировочный контакт; *1, 2, 3* — клеммы для подключения испытуемого образца; *Э* — экран; $Л_1$ и $Л_3$ — лампы

Определение водопоглощаемости производят по ГОСТ 4650—49. Испытания выполняют на брусках с такими же размерами, как и при испытании прочности при статическом изгибе. Бруски предварительно взвешивают, полностью погружают на 24 *ч* в дистиллированную воду, имеющую температуру 20±2° С. По истечении 24 *ч* вынимают из воды, насухо вытирают и немедленно взвешивают.

Расчет производят по формуле

$$B = \frac{P_2 - P_1}{F} \text{ г/дм}^2, \qquad (28)$$

где B — водопоглощаемость в *г/дм²*;
P_2 — вес образца после 24 *ч* пребывания в воде в *г*;
P_1 — вес образца до погружения в воду в *г*;
F — поверхность образца в *дм²*.

Определение объемного электрического сопротивления производят по ГОСТ 6433—52 на образцах с размерами 100 × 100 *мм*

после выдержки при температуре 70 ±2° С в течение 4 *ч*, с последующей выдержкой при температуре 20±5° С и относительной влажности 65±3% в течение не менее 6 *ч* и после выдержки в среде с относительной влажностью 95±3% при температуре 20±5° С в течение 24 *ч*. Испытание осуществляется по схеме рис. 24.

Собранный образец с электродами показан на рис. 25.

На образец при помощи трансформаторного масла притирают электроды *1* и *4* и охранное кольцо *2* из отожженной алюминиевой фольги.

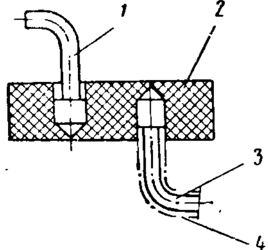


Рис. 25. Образец слоистого пластика в сборе с электродами при испытании удельного объемного сопротивления:

1 — измерительный электрод; *2* — охранный электрод; *3* — образец; *4* — высоковольтный электрод

Рис. 26. Схема расположения электродов при определении удельного внутреннего сопротивления:

1 — высоковольтный электрод; *2* — образец; *3* — измерительный электрод; *4* — экран

После установки образца с электродами испытания проводятся следующим образом: включается сеть, лампа $Л_1$ (рис. 24) загорается, напряжение на установку подано; включается кнопка *КП*, при этом загорается лампа $Л_3$, сигнализирующая о подаче напряжения в измерительную схему; устанавливается ЛАТРом ток по амперметру в цепи накала и лампа ВГ-129 прогревается в течение 1 *мин*; напряжение поднимается до 1 *кв*. Далее включается переключатель $К_1$ в положение *1*, а переключатель $К_2$ в положение *2*; нажимается кнопка $К_3$ и определяется отклонение зайчика гальванометра *Г*; производится отсчет по шкале гальванометра через 1 *мин* после замыкания $К_3$. После отсчета кнопка $К_3$ размыкается, переключатель $К_2$ ставится в положение *1* (заземляется образец), переключатель $К_1$ ставится в положение *2*, переключатель $К_2$ в положение *2* и нажимается кнопка $К_3$. При этом определяется положение зайчика гальванометра и производится отсчет по шкале гальванометра.

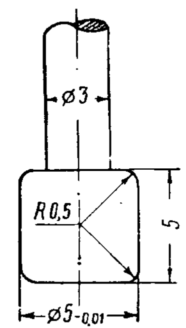


Рис. 27. Электрод для определения удельного внутреннего сопротивления

Величина удельного объемного сопротивления вычисляется по формуле

$$\rho_v = \frac{UnF}{C_д \alpha \Delta} \ ом \cdot см, \qquad (29)$$

где U — напряжение в *в*;
n — шунтовое число шунтирующего сопротивления;
$C_д$ — динамическая постоянная гальванометра;
F — площадь измерительного электрода в *см*^{2};
α — показания гальванометра в *мм*;
Δ — расстояние между измерительным и высоковольтным электродом в *см*.

Определение удельного внутреннего сопротивления производится по ГОСТ 6433—52; подготовка к испытаниям, схема и методика испытаний соответствуют вышеописанному. Расположение электродов указано на рис. 26, размеры и форма электрода—на рис. 27.

Величина удельного внутреннего сопротивления вычисляется по формуле

$$\rho_в = \frac{UnF}{C_д \alpha \Delta \pi} \ ом \cdot см. \qquad (30)$$

ГЛАВА III

ИСПЫТАНИЯ УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И АППАРАТОВ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИ РЕМОНТЕ

§ 13. Испытания коллекторных манжет

Коллекторные манжеты изготовляются в виде цельных и сегментных из формовочного миканита. После изготовления согласно технологической инструкции манжеты проверяют на монолитность, соответствие размеров чертежным и испытывают на электрическую прочность по схеме рис. 28. При испытании цельных манжет элек-

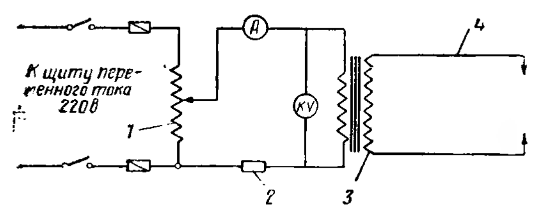


Рис. 28. Схема пробивного трансформатора: 1 — автотрансформатор; 2 — сопротивление для ограничения тока короткого замыкания; 3 — высоковольтный трансформатор; 4 — к испытуемому объекту

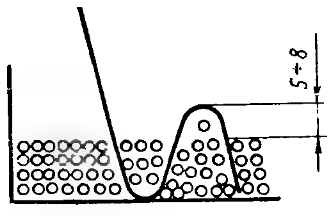


Рис. 29. Сопряжение электрода с образцом при испытании цельных коллекторных манжет

тродами служит дробь металлическая диаметром не более 2 *мм*. Соединение электрода с образцом показано на рис. 29, причем уровень дроби должен быть ниже края меньшего конуса на 5—8 *мм*. Напряжение подводится к дроби, находящейся снаружи манжеты и внутри ее. Установка для испытания изображена на рис. 30,*а*.

Таблица 22

Напряжение машины *E* в *в*	От 36 до 250	300	400	500	600	700	750	800	900	1 000	3 300
Испытательное напряжение в *в*	4 000	4 200	4 400	4 700	5 900	6 100	6 300	6 400	6 700	6 900	12 300

При испытании сегментных манжет один электрод изготовляют из листовой латуни по форме манжеты, другим электродом служит коллектор. Установка для испытания показана на рис. 30, *б*.

Испытание начинают с напряжения, не превышающего $^1/_3$ испытательного. Подъем напряжения до полного значения производят плавно за время не менее 10 *сек*. После этого делается выдержка в течение 1 *мин*, затем напряжение снижается до $^1/_3$ испытательного и установку отключают.

Если стрелка киловольтметра во время испытаний отклоняется к нулю, то это свидетельствует о пробое манжеты.

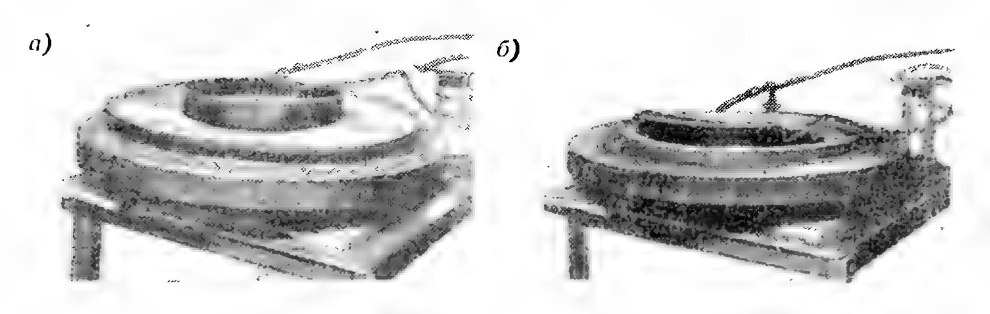


Рис. 30. Установка для испытания:
а — цельных коллекторных манжет; *б* — сегментных коллекторных манжет

Величины принятых испытательных напряжений коллекторных манжет указаны в табл. 22, причем при $E \leqslant 500$ *в* $U_{исп} = 2{,}5\,E + 3\,400$ *в*, но не менее $4\,000$ *в*; при $E > 500$ *в* $U_{исп} = 2{,}5\,E + 4\,400$ *в*.

§ 14. Контроль и испытания коллекторов

При сборке коллекторных пластин в кольцо необходимо контролировать получение чертежного диаметра кольца при соответствующем давлении запрессовки, указанном в чертеже.

Как показывает опыт, если допуски на толщину медных и миканитовых пластин, из которых собирается коллектор, одного знака, то чертежный размер диаметра кольца не получается. Для получения чертежного размера кольца производится предварительная калибровка их на специальном прессе под давлением. Высота пластин при этом контролируется микроштихмасом. Общий вид приспособления представлен на рис. 31.

Величина давлений для пластин каждого типа электрических машин устанавливается опытным путем. Примерные величины удельных давлений для тяговых двигателей составляют 26—30 *кг/см*², низковольтных генераторов 14—15 *кг/см*².

После сборки коллекторов на корпус и проточки поверхности коллекторы всех типов проверяются на соответствие размеров чертежу и испытываются напряжением 500 *в* на отсутствие межла-

мельных замыканий. Испытания удобно производить при помощи специального переносного прибора (рис. 32), разработанного Центральной заводской лабораторией НЭВЗа.

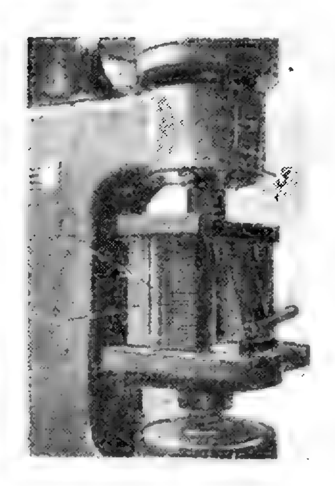


Рис. 31. Общий вид приспособления для калибровки медных и миканитовых пластин:

1 — микроштихмас; *2* — коллекторные пластины; *3* — пресс

Прибор питается от кислотного аккумулятора напряжением 6—6,5 *в*. Генератор переменного тока (рис. 32) на полупроводниковых триодах ПЗВ генерирует низкое напряжение частотой 100—200 *гц*. Это напряжение повышается трансформатором *ТР1* и вы-

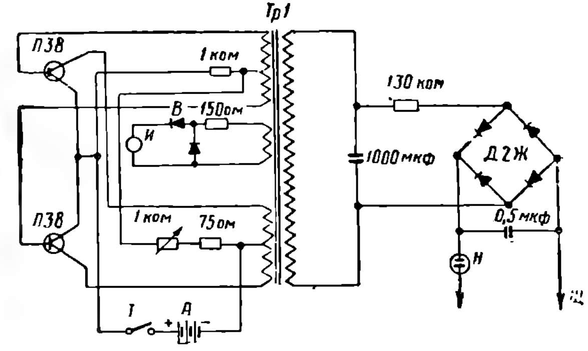
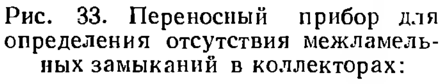


Рис. 32. Схема прибора для обнаружения межламельных замыканий в коллекторах:

ПЗВ — триоды германиевые; *Д2Ж* — диоды германиевые; *Н* — лампа неоновая; *В* — выпрямитель; *И* — измерительный прибор; *Т* — тумблер; *Щ* — щупы; *А* — кислотный аккумулятор; *Тр1* — трансформатор

прямляется на полупроводниковых диодах Д2Ж. Для сглаживания напряжения на выходе и увеличения пробивной мощности применяется конденсатор емкостью 0,5 *мкф*. Величина напряжения может регулироваться с помощью проволочного перемен-



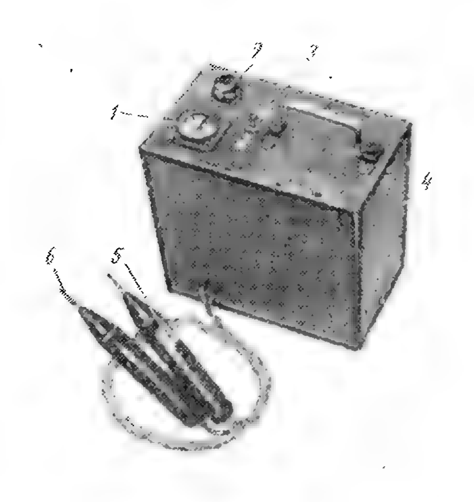


Рис. 33. Переносный прибор для определения отсутствия межламельных замыканий в коллекторах:

1 — измерительный прибор; *2* — регулятор напряжения; *3* — тумблер; *4* — корпус прибора; *5* — неоновая лампа; *6* — щупы

ного сопротивления. Прибор собран в ящике из гетинакса. Измерительный прибор, тумблер и ручка переменного сопротивления выведены на верхнюю панель (рис. 33).

Для проверки коллекторов напряжение от прибора подводится к пластинам с помощью щупов. О наличии замыкания между коллекторными пластинами сигнализирует неоновая лампочка 5 (рис. 33). Если пластины замкнуты между собой, то неоновая лампочка горит ярким ровным накалом.

После испытаний на вращение (разгон) коллектора вновь проверяют на отсутствие межламельных замыканий и затем, окончательно отделав их, проверяют электрическую прочность корпусной изоляции по схеме рис. 28. Для этого коллектор устанавливают на верстаке и туго обвязывают стальной проволокой, навивая ее спирально. Один электрод присоединяют к корпусу коллектора, а другой к коллекторной меди, после чего включают рубильник трансформатора, в момент замыкания которого должна загораться сигнальная лампа. Плавным поворотом рукоятки реостата испытательное напряжение поднимают до величины, соответствующей типу испытуемого коллектора, и выдерживают в течение 1 *мин.*

Величины испытательных напряжений коллекторов указаны в табл. 23, причем при $E \leqslant 500$ *в* $U_{исп} = 2{,}5\,E + 2\,500$ *в*, но не менее 3 100 *в*; при $E > 500$ *в* $U_{исп} = 2{,}5\,E + 3\,500$ *в*.

Таблица 23

Напряжение машины E в *в*	От 36 до 250	300	400	500	600	700	750	800	900	1 000	3 300
Испытательное напряжение в *в*	3 100	3 300	3 500	3 800	5 000	5 300	5 400	5 500	5 800	6 000	11 000

§ 15. Испытание обмотки якоря

Якоря электрических машин в процессе изготовления испытываются на межвитковые замыкания, правильность соединения обмотки и на электрическую прочность корпусной изоляции.

Определение межвитковых замыканий якорей с волновой обмоткой до и после пайки секции в петушках коллектора, определение правильности присоединения их к коллекторным пластинам и наличия замкнутых витков производится по схеме, изображенной на рис. 34, следующим образом.

Обмотка якоря питается постоянным током от аккумуляторной батареи или селеновых выпрямителей. Напряжение подводится к двум коллекторным пластинам, находящимся друг от друга на расстоянии полюсного деления, и поочередно к каждым двум смежным пластинам, находящимся внутри полюсного деления, прикладываются щупы от милливольтметра. Если обмотка выполнена правильно, то стрелка милливольтметра будет отклоняться в одну сторону на определенное число делений, в противном случае — в противоположную сторону.

Отклонение стрелки милливольтметра в сторону, соответствующую правильной укладке обмотки, но на меньшее число делений, указывает на замыкание витков, отклонение на большее число делений—на плохой контакт или плохое качество пайки с коллектором.

После пайки обмотки наличие межвитковых замыканий определяется при помощи специального трансформатора повышенной частоты, сердечник которого (башмак) выполнен по форме сердечника якоря. Для проверки якорь укладывается на башмак и подается напряжение на первичную обмотку трансформатора от специального генератора повышенной частоты. Вторичной обмоткой трансформатора служат секции якоря.

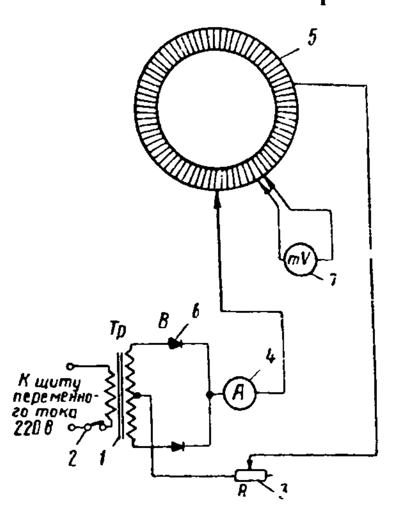


Рис. 34. Схема установки для обнаружения витковых замыканий в якорях с волновой обмоткой:

1 — трансформатор; *2* — выключатель; *3* — реостат; *4* — амперметр; *5* — испытуемый якорь; *6* — селеновый выпрямитель; *7* — милливольтметр

Наличие в якоре замкнутых витков выявляется наложением поочередно на зубцы якоря стальной пластины, которая при замыкании витков притягивается к сердечнику.

При испытании якорь поворачивается так, чтобы под башмаком прошли все секции якоря.

В настоящее время имеются более совершенные методы контроля при помощи электронных аппаратов типа СМ-1.

Аппарат питается от сети переменного тока напряжением 118—127 *в*, частотой 50 *гц*. На передней панели аппарата расположены ручки управления, выключатели и зажимы для присоединения испытуемых обмоток, а также для присоединения заземляющего провода. Его чувствительность обеспечивает выявление одного короткозамкнутого витка на каждые 2000 витков обмотки.

Принцип работы аппарата основан на том, что импульсы испытательного напряжения с амплитудой до 600 *в* подаются в испытуемые обмотки через синхронный переключатель поочередно то в одном, то в другом направлении.

Испытание ведется методом сравнения между собой импульсов напряжения на плечах *АС* и *ВС* (рис. 35). При этом, если плечо *АС* обмотки симметрично плечу *ВС*, то амплитуда и форма кривой напряжения в обоих случаях будут одинаковы и на экране трубки кривые будут накладываться друг на друга. Если же симметрия плеч нарушена вследствие короткого замыкания между витками, неправильного соединения обмотки, различного числа витков, обрыва обмотки или по каким-либо другим причинам, то напряжения, приходящиеся на плечо, и будут отличаться друг от друга и на экране появятся две несовпадающие друг с другом кривые.

Синхронное управление лучом трубки, его горизонтальная развертка на экране и подача импульса на испытуемые обмотки осуществляются контуром развертки луча, который одновременно является и контуром синхронного управления аппаратом.

Для нахождения в электрической машине паза с короткозамкнутыми витками применяется приспособление с двумя П-образными электромагнитами, один из которых подвижный, а второй — неподвижный. Катушка неподвижного электромагнита присоединяется к зажимам «*Вых. имп.*», а катушка подвижного электромагнита присоединяется к зажимам «*Сигн. явл.*».

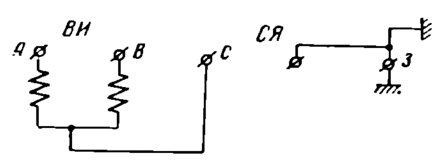


Рис. 35. Схема подключения испытуемого объекта к клеммам аппарата СМ-1

Переставляя оба электромагнита с паза на паз по поверхности якоря, на экране электроннолучевой трубки наблюдают совпадение или расхождение кривых.

Более надежную проверку осуществляют с помощью импульсной установки ЦНИИ МПС типа ИУ-2 (рис. 36, *а*). Выходное импульсное напряжение установки 0,3/100 *мксек* регулируется в пределах 0—5000 *в* с частотой повторения импульсов 50,2 *гц*.

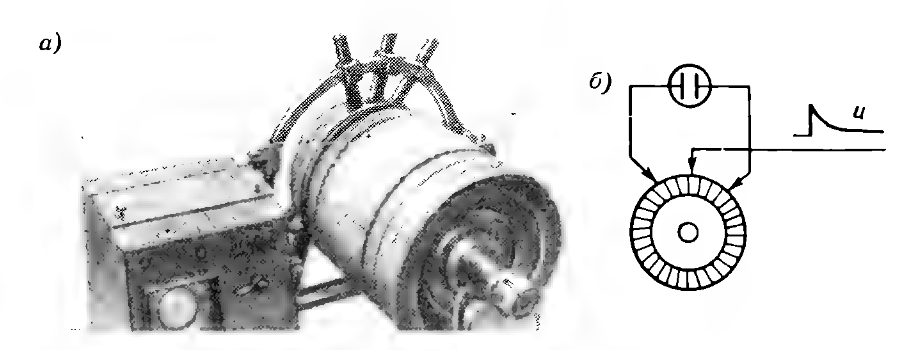


Рис. 36. Импульсная установка ЦНИИ МПС типа ИУ-2 для обнаружения витковых замыканий в якорях с волновой обмоткой в работе:

а — общий вид; *б* — схема расположения электродов на испытуемом объекте

Благодаря большой крутизне фронта импульса установка позволяет создать между витками обмотки напряжение, достаточное для проверки качества изоляции.

Импульс испытательного напряжения создается при разряде конденсатора. Разность потенциалов между соответствующими точками обмотки снимается на индикаторе. Требуемая амплитуда волны импульса испытательного напряжения устанавливается с помощью автотрансформатора и вольтметра.

Для подвода испытуемого напряжения к обмотке якоря применяется приспособление, состоящее из трех электродов (рис. 36,*б*),

центральный электрод подключается к выходу генератора импульсов, а боковые — к пластинам индикатора.

При симметрии обоих плеч обмотки разности потенциалов между боковыми электродами не будет и горизонтальная линия на экране индикатора не искажается. Если же симметрия плеч обмотки нарушена, то горизонтальная линия на экране индикатора искажается.

Определение межвитковых замыканий якорей с петлевой обмоткой, имеющей уравнительные соединения, и многоходовых обмоток до и после пайки обмоток в коллекторе производится на специальной установке, выполненной по схеме, представленной на рис. 37.

Для проверки подсоединяют щупы *1* и *2* к рядом лежащим коллекторным пластинам испытуемого якоря, устанавливают в цепи ток 10 *а* и при помощи милливольтметра измеряют падение напряжения между этими же пластинами.

Если обмотка якоря исправна, милливольтметр показывает одну и ту же величину падения напряжения между всеми коллекторными пластинами (например 15 *мв*); уменьшенную, если обмотка имеет частичное замыкание (например 10—5 *мв* вместо 15 *мв*); большую величину, если обмотка имеет плохой контакт между коллекторными пластинами или обрыв (например 20—25 *мв* вместо 15 *мв*); нуль, если обмотка имеет полное замыкание; отклоняется в обратную сторону, если концы обмотки, подключенные к рядом лежащим коллекторным пластинам, перепутаны.

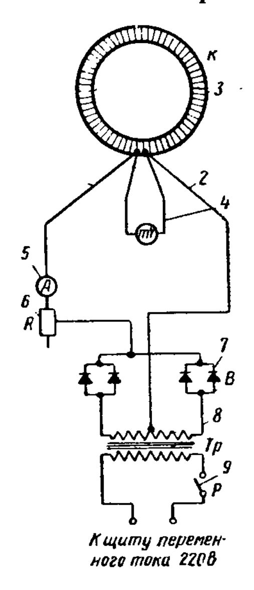


Рис. 37. Схема установки для обнаружения витковых замыканий в якорях с петлевой обмоткой, имеющей уравнительные соединения:

1 и *2* — щупы; *3* — испытуемый якорь; *4* — милливольтметр; *5* — амперметр; *6* — реостат; *7* — селеновый выпрямитель; *8* — трансформатор; *9* — выключатель

Определение электрической прочности корпусной изоляции якоря производится по схеме рис. 38.

При определении замыкают накоротко секции обмотки, обвязав коллектор проволокой, и присоединяют один электрод к меди коллектора, а другой к заземленному корпусу якоря. Затем включают напряжение от повышающего трансформатора и поднимают его плавно до полного значения испытательного напряжения, указанного в табл. 24. При этом время увеличения испытательного напряжения от половины до полного значения должно быть не менее 10 *сек*. Полное испытательное напряжение выдерживается в течение 1 *мин*, после чего снижается до нуля и установка отключается.

Результаты испытания изоляции считаются удовлетворительными, если во время испытания не произойдет пробоя или перекрытия изоляции (по поверхности). Явление короны во время испытания допускается.

Таблица 24

Напряжение машины E в *в* от 36 до 250	300	400	500	600	700	750	800	900	1 000	3 300
Испытательное напряжение в *в*										
	Якорь после намотки и осадки									
	$U_{исп} = 2,5\ E + 2\,000$ *в*, но не менее 2 600 *в*									
2 600	2 800	3 000	3 300	3 500	3 700	3 900	4 000	4 300	4 500	9 700
	Якорь после расклиновки постоянными клиньями									
	$U_{исп} = 2,5\ E + 1\,900$ *в*, но не менее 2 500 *в*									
2 500	2 700	2 900	3 200	3 400	3 600	3 800	3 900	4 200	4 400	9 200
	Готовый якорь перед сборкой									
	$U_{исп} = 2,5\ E + 1\,200$ *в*, но не менее 1 800 *в*									
1 800	2 000	2 200	2 500	2 700	2 900	3 100	3 200	3 500	3 700	8 100

§ 16. Испытания секций обмоток тяговых двигателей

Секции обмоток тяговых двигателей изготовляются из голой шинной меди. При изолировке отдельных витков контролируется необходимое перекрытие микаленты, из которой выполняется вит-

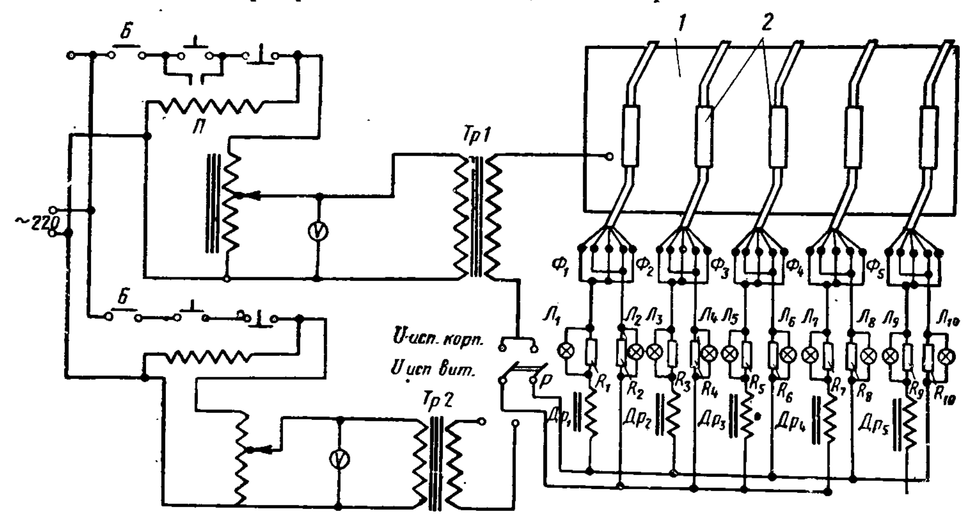


Рис. 38. Схема установки для определения электрической прочности корпусной и витковой изоляции секции тяговых двигателей

ковая изоляция. После сушки и опрессовки проверяется правильность положения отдельных проводников (отсутствие сдвигов) и целостность витковой изоляции.

При наложении корпусной изоляции контролируется правильность перекрытия в микалентном слое, степень утяжки и окончательный размер по шаблону. После сушки и опрессовки проверяются

монолитность слоя изоляции, размеры по чертежу, отсутствие закусов и электрическая прочность. Секция с закусами и поврежденной изоляцией бракуется.

Испытание на электрическую прочность осуществляется на установке, схема которой аналогична рис. 28. Центральной заводской лабораторией НЭВЗ разработана специальная установка (рис. 38), которая повышает надежность проверки и увеличивает пропускную способность.

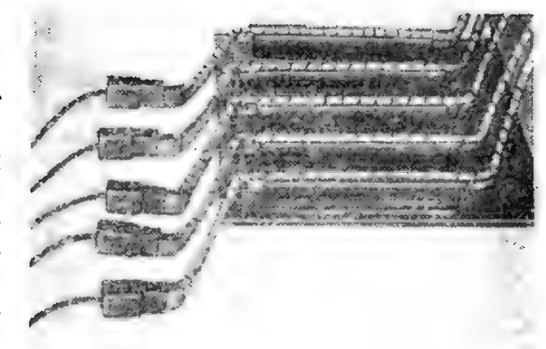


Рис. 39. Вид секций с фишками в процессе испытания прочности корпусной и витковой изоляции

Напряжение, необходимое для испытания корпусной изоляции, подается от трансформатора *Тр*1 для испытания межвитковой изоляции от *Тр*2.

Подача высокого напряжения на испытуемую секцию для проверки прочности витковой или корпусной изоляции производится при помощи переключателя *Р*.

При испытании стержневых секций последние вставляются в гнезда, имеющие форму и размеры паза, и накрываются общей для нескольких секций металлической крышкой.

Сглаживание импульса тока, возникающего в процессе разряда межвитковых емкостей исправных секций на дефектную при пробое между витками этой секции в момент подачи полного испытательного напряжения, осуществляется дросселями $Др_1$—$Др_5$. Подключение к секции осуществляется через переходные фишки $Ф_1$—$Ф_5$, показанные на (рис. 39).

Порядок испытания на установке следующий (рис. 38): первоначально проверяется корпусная изоляция в течение 1 *мин*, затем межвитковая в течение 2—3 *сек*. Для проверки на пазовые части секций надеваются металлические коробочки *2* и секции укладываются на металлический лист *1*. На выводы витков секции надеваются фишки *Ф*. Когда переключатель *Р* ставится в положение «*Исп. корп.*», производится испытание корпусной изоляции одновременно всех секций, а когда он ставится в положение «*Исп. вит.*», производится испытание межвитковой изоляции также всех секций.

При наличии дефектных секций загораются индикаторные лампочки $Л_1$ — $Л_{10}$, зашунтированные сопротивлениями R_1 — R_{10}, указывающие номера фишек, подключенных к дефектным секциям.

Испытательные напряжения секций приведены в табл. 25.

Испытания неразрезных катушек якорей также можно производить на установке, показанной на рис. 39.

	Напряжение машины E в	500	600	700	750	800	900	1 000	3 300
Испытательное напряжение	$U_{исп}$ корпусной изоляции равно $2{,}5\,E + 2\,500$ в . .	3 800	4 000	4 200	4 400	4 500	4 800	5 000	14 000
	$U_{исп}$ витковой изоляции . .	220	220	220	220	220	220	220	1 000

§ 17. Испытания катушек тяговых двигателей

Катушки главных и добавочных полюсов тяговых двигателей изготовляются из прямоугольной меди. После намотки и опрессовки на гидравлическом прессе, 1-й и 2-й компаундировок катушки проверяют на отсутствие витковых замыканий на специальной установке, представляющей собой трансформатор с одной (первичной) обмоткой (рис. 40). Испытуемая катушка надевается на ярмо трансформатора и служит вторичной обмоткой. При включении рубильника *P* и отсутствии витковых замыканий в катушке ток в первичной обмотке практически равен нулю, а в случае замыкания значительно возрастает. Установка является громоздкой и проверка на ней трудоемка. Вследствие этого на НЭВЗе нашел широкое применение портативный прибор (рис. 41,*а*), разработанный Центральной заводской лабораторией. Благодаря оптимальному подбору всех параметров прибор обладает большой чувствительностью. Наличие только одного короткозамкнутого витка в катушке вызывает изменение отклонения стрелки индикатора на 40% длины шкалы.

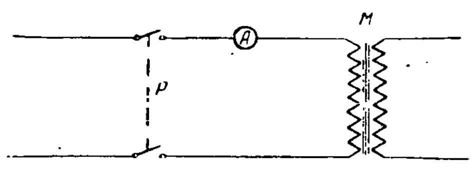


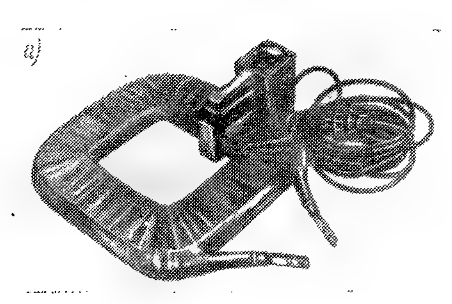
Рис. 40. Принципиальная электрическая схема установки для проверки полюсных и аппаратных катушек на витковое замыкание

Существенным преимуществом прибора для обнаружения витковых замыканий является то, что в нем применен переносной магнитопровод *6* с шарнирным соединением одной стороны (рис. 41, *б*). В основе принципа работы прибора лежит использование значительного увеличения намагничивающего тока $I_н$ в катушке L при наличии в катушке L_x короткозамкнутого витка и применение в качестве индикатора, фиксирующего изменение этого тока, магнитоэлектрического прибора М5-2 в комплекте с купроксным выпрямителем B_1 и сопротивлением R.

Значительное увеличение тока $I_н$ при одном короткозамкнутом витке в катушке L_x объясняется тем, что в электрических машинах большой мощности применяется ленточная медь, сопротивление которой очень мало.

Контроль наличия короткозамкнутых витков в проверяемой катушке производится следующим образом: прибор подключается к сети, магнитопроводом *6* обхватывается одна из сторон катушки, нажимается кнопка *8* и по отклонению стрелки индикатора *7* определяется наличие короткозамкнутых витков.

Испытательные напряжения катушек указаны в табл. 26.



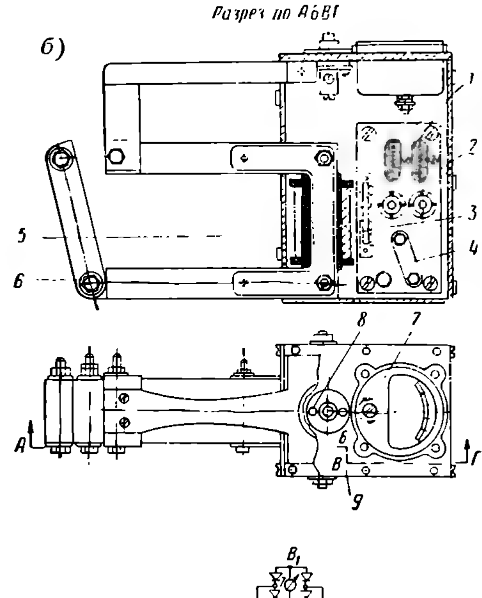


Рис. 41. Прибор для определения витковых замыканий в катушках тяговых двигателей:

а — рабочее положение; *б* — схема прибора; *1* — купроксные выпрямители; *2* — сопротивления; *3* — предохранитель; *4* — переключатель; *5* — намагничивающая катушка; *6* — магнитопровод, набранный из пластин электротехнической стали; *7* — магнитоэлектрический прибор; *8* — кнопка; *9* — кожух, выполненный из гетинакса; L_x — проверяемая катушка

Таблица 26

Напряжение машины *E* в	500	600	700	750	800	900	1 000	3 300
Испытательное напряжение корпусной изоляции катушек $U_{исп} = 2{,}5\,E + 2\,400$ *в*	3 700	3 900	4 100	4 300	4 400	4 700	4 900	11 800

§ 18. Испытания катушек вспомогательных машин и секций

В процессе намотки катушек контролируется число витков по счетчику. По окончании намотки проверяется омическое сопротивление катушки на соответствие расчетной записке мостом Томсона и отсутствие витковых замыканий на установке (рис. 40).

Проверка отсутствия витковых замыканий производится для каждой катушки после 1-й и 2-й компаундировки, отделки и маркировки.

Электрическая прочность корпусной изоляции проверяется выборочно и испытания осуществляются по схеме, изображенной на рис. 28.

Испытательные напряжения корпусной изоляции катушек приведены в табл. 27.

Таблица 27

Напряжение машины в *в*	От 36 до 250	300	400	500	600	700	750	800	900	1 000	3 300
Испытательное напряжение *E* в *в*	$U_{исп} = 2{,}5\ E + 2\,400$ *в*										
	3 000	3 100	3 400	3 700	3 900	4 100	4 300	4 400	4 700	4 900	9 700

Испытания катушек, намотанных на металлический каркас, и катушек, установленных в остове или станине, производятся измерением омического сопротивления с помощью амперметра-вольтметра или измерительного моста.

В процессе намотки секций контролируется положение проводников друг относительно друга и целостность изоляции из хлопчатобумажной или шелковой пряжи. После пропитки секций, зачистки и луже-

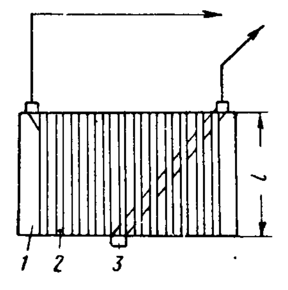


Рис. 43. Установка для определения прочности корпусной изоляции секций вспомогательных машин:

1 — текстолитовая доска; *2* — латунные гнезда для секций; *3* — место подсоединения концов секций; *l* — размер пазовой части секций

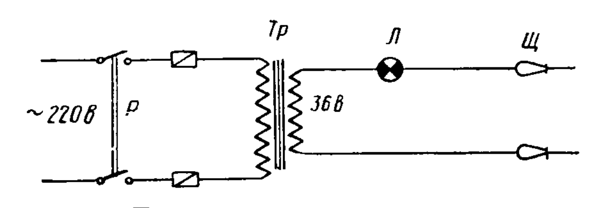


Рис. 42. Принципиальная электрическая схема приспособления для проверки правильности выводов и витковых замыканий в секциях вспомогательных машин:

Л — индикаторная лампа; *Щ* — щупы; *Тр* — понижающий трансформатор; *Р* — рубильник

ния концов проверяется правильность расположения витков с помощью установки, схема которой представлена на рис. 42. Если витки расположены правильно, то лампочка загорается.

После наложения корпусной изоляции контролируется монолитность витков секции, которая достигается пропиткой в соответствующих лаках. Готовая секция проверяется на соответствие чертежу и электрическую прочность. Для проверки электрической прочности корпусной изоляции применяется специальная установка (рис. 43), для проверки прочности витковой изоляции и правильности расположения витков — установка, показанная на рис. 42.

§ 19. Испытание остовов электрических машин

По окончании монтажа остова производятся маркировка выводов и проверка полярности катушек магнитной стрелкой компаса (первоначально главных, затем дополнительных полюсов) и, наконец, правильность чередования при заданном направлении вращения главного полюса и одинаковой полярности с ним дополнительного полюса. Полярность полюсов должна строго соответствовать схеме. При помощи специальных штихмасов контролируется расстояние по диаметру между главными и добавочными полюсами, которое должно строго соответствовать расчетному.

После проверки катушек остов испытывается на пробой на установке, выполненной по схеме, изображенной на рис. 28, испытательным напряжением согласно табл. 28.

Таблица 28

Напряжение машины в *в*	От 36 до 250	300	400	500	600	700	750	800	900	1 000	3 300
Испытательное напряжение *E* в *в*	1 700	2 300	2 550	2 800	3 000	3 300	3 400	3 500	3 800	4 000	8 500

По окончании проверки остов поступает для сборки с якорем машины.

§ 20. Испытание катушек аппаратов

Намотка аппаратных катушек производится по счетчику. После намотки проверяется сопротивление катушек при помощи мостов постоянного тока и приводится к температуре +20° С. Измеренное сопротивление должно соответствовать расчетному, а отклонение его не должно превышать в зависимости от типа катушек —5 +8, —8 +8%, что обусловливается техническими требованиями.

Для улучшения качества и ускорения проверки катушек на заводе разработан и получил применение специальный прибор, который более удобен в эксплуатации, чем мост постоянного тока.

Отклонение сопротивления катушки определяется прибором независимо от окружающей температуры в процентах, что позволяет выполнять эту операцию непосредственно рабочим, изготовляющим катушки. Время, затрачиваемое на замер сопротивления с помощью прибора, не превышает 10—15 *сек*, а погрешность измерения не превышает 0,5%.

Схема прибора приведена на рис. 44.

Прибор представляет лагометр, подвижная система которого снабжена двумя рамками: вращающей и противодействующей. Независимость показаний прибора от окружающей температуры достигается введением температурной компенсации катушками $L_1 \div L_9$,

выполненными так же, как и измеряемые из медного провода. Для удобства отсчета и исключения ошибки все шкалы прибора сведены в одну через сопротивления r_1—r_9.

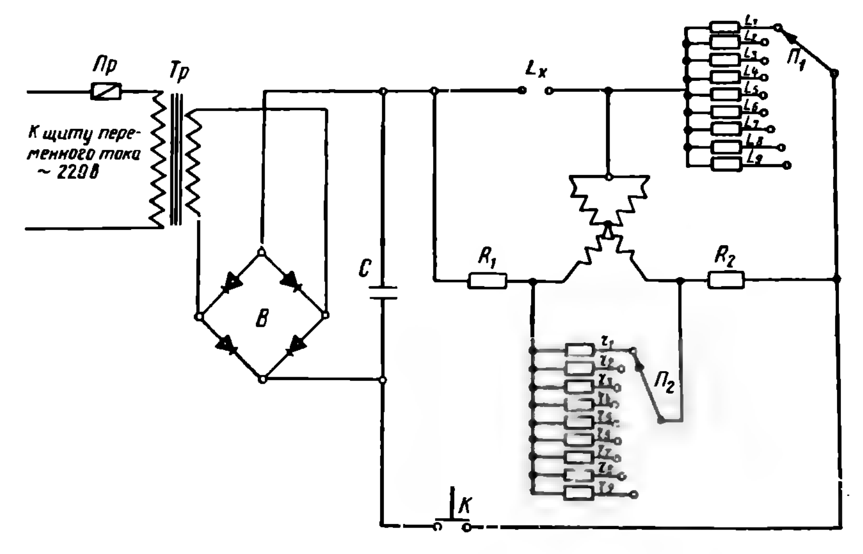


Рис. 44. Схема прибора для определения сопротивления аппаратных катушек

Пределы измерений прибора устанавливаются сопротивлениями R_1—R_2.

Измеряемая катушка подключается к выводам L_x.

Кроме того, прибор снабжен переключателями диапазонов $П_1$, $П_2$, включающей кнопкой $К$, понижающим трансформатором $Тр$, селеновым выпрямителем $В$, сглаживающим конденсатором $С$.

При пользовании прибором его включают в сеть переменного тока 127/220 *в* и устанавливают переключатели $П_1$ и $П_2$ в положение, соответствующее проверяемым в данный период типам катушек.

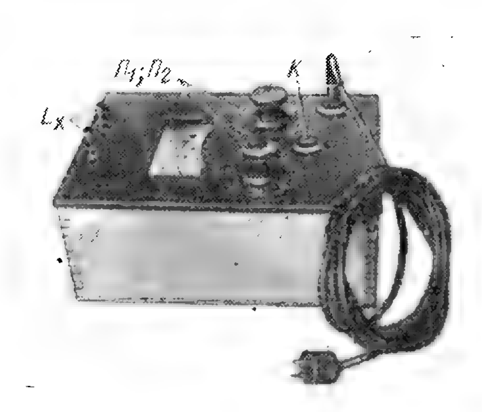


Рис. 45. Прибор для определения сопротивления аппаратных катушек

Измерение: подключив проверяемую катушку к зажимам непосредственно или через специальные переходные зажимы (в зависимости от формы катушек), нажать кнопку $К$ и через 1—2 *сек* произвести отсчет по шкале непосредственно в процентах (рис. 45).

После пропитки, окраски и отделки катушки снова проверяются на омическое сопротивление тем же прибором и на отсутствие витковых замыканий на стенде, схема которого приведена на рис. 40.

§ 21. Испытание стержней тяговой аппаратуры и пальцев щеткодержателей

Опрессованные стержни тяговой аппаратуры до окраски изоляционной эмалью контролируются на плотность слоя изоляции, на соответствие размеров чертежу и на электрическую прочность в состоянии поставки и после пребывания в гигростате в течение 24 *ч*.

Определению электрической прочности после пребывания в гигростате подвергаются четыре стержня от партии в 1 000 шт., остальные показатели проверяются на каждом стержне.

Плотность слоя изоляции проверяется путем постукивания по телу стержня деревянным молоточком. При этом должен раздаваться чистый звук, свидетельствующий о монолитности изоляционного слоя. Размеры стержня промеряются линейкой и штангенциркулем.

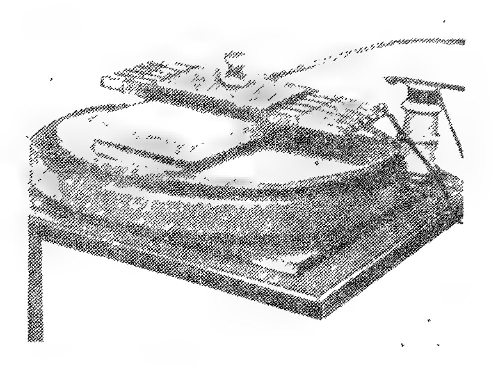


Рис. 46. Приспособление для испытания стержней

Электрическая прочность определяется в специальном приспособлении (рис. 46) от пробивного трансформатора по схеме рис. 28. Одним электродом служит тело стержня, другим электродом корпус приспособления. Каждый стержень испытывается напряжением 13 *кв* в течение 1 *мин*.

Электрическая прочность после пребывания в гигростате в течение 24 *ч* должна быть не менее 9,5 *кв*. При испытании одним электродом служит поясок из фольги шириной 30 *мм*, расположенный на изоляции стержня, другим электродом корпус стержня.

Изготовленные пальцы щеткодержателей проверяются на соответствие размеров согласно чертежу и электрическую прочность по схеме, изображенной на рис. 28.

Испытательные напряжения изоляции пальцев приведены в табл. 29.

Таблица 29

Напряжение машины в *в*	От 36 до 250	300	400	500	600	700	750	800	900	1 000	3 300
Испытательное напряжение E в *в*	$U_{исп} = 2,5\ E + 1\ 700$ *в*										
	2,3	2,5	2,7	3,0	3,2	3,5	3,6	3.7	4,0	4,2	10,2

ГЛАВА IV

ИСПЫТАНИЯ ТЯГОВЫХ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

§ 22. Виды и программы испытаний

Электрические машины электроподвижного состава могут считаться пригодными к эксплуатации и обеспечивать надежную работу только в тех случаях, когда они удовлетворяют соответствующим требованиям и нормам, установленным Государственными стандартами (ГОСТами), ведомственными техническими условиями (ТУ) и Правилами эксплуатации и ремонта. В нашей стране общие и обязательные требования для всех видов электрических машин установлены ГОСТ 183—55, а конкретные технические условия на тяговые машины постоянного тока ГОСТ 2582—50.

В указанных стандартах для электрических машин предусматривается два вида испытаний — контрольные и типовые. Контрольным испытаниям подвергается каждая машина, выпускаемая заводом-изготовителем или прошедшая ремонт. Типовые испытания производятся при выпуске электрических машин новых типов, при изменении их конструкции, технологического процесса их изготовления или материалов, могущем повлиять на характеристики машин.

Контрольные испытания проводятся с целью проверки номинальных данных машин, качества изготовления или ремонта, пригодности к эксплуатации и соответствия техническим условиям и ГОСТам. Программа испытания тяговых машин постоянного тока состоит из внешнего осмотра, проверки омического сопротивления обмоток, испытания на нагревание в течение 1 *ч* (или более короткого промежутка времени, если машина рассчитана на кратковременный режим менее 1 *ч*), проверки скорости вращения и реверсирования при номинальной мощности — для электродвигателей, напряжения при номинальной мощности — для генераторов, испытания на повышенную скорость вращения, проверки коммутации, проверки сопротивления и электрической прочности изоляции.

В целях сокращения времени и обеспечения качества испытаний необходимо их проводить в последовательности чередования пунктов программы, а результаты фиксировать в протоколе. Протокол является основным документом, на основании которого выписывается сертификат и составляется паспорт машины.

Машина считается пригодной к установке на локомотив (электросекцию) только в том случае, если она прошла испытания, удовлетворяет требованиям ГОСТ 183—55, ГОСТ 2582—50 и техническим условиям. При несоответствии указанным документам машина должна быть возвращена в цех для устранения дефектов. После этого машина вторично подвергается испытаниям, которые проводятся или по полной программе, если она разбиралась с заменой отдельных узлов, или по отдельным пунктам, позволяющим установить, устранены ли дефекты, если машина не разбиралась.

Типовые испытания предусматривают определение основных характеристик машин и проверку соответствия их расчетным данным и действующим ГОСТам. Установленные при этих испытаниях значения мощности скорости и пр. принимаются за номинальные для испытуемого типа машин. В программу типовых испытаний в соответствии с ГОСТ 2582—50 и 183—55 входят:

все пункты программы контрольных испытаний;

определение тока, соответствующего превышению температуры при номинальном режиме работы (при этом токе производятся контрольные испытания на нагревание);

испытания на нагревание при длительной (или при повторно-кратковременной) мощности;

снятие: а) скоростных характеристик при номинальном напряжении и для всех основных ступеней регулирования возбуждения электродвигателей и б) нагрузочных характеристик при разных токах нагрузки до максимального допустимого включительно для генераторов и двигателей, работающих в режиме торможения с возвратом электрической энергии в сеть;

определение потерь к. п. д. и зоны наилучшей коммутации;

установление зависимости статического напора в коллекторной камере от количества продуваемого через машину (в случае независимой вентиляции) охлаждающего воздуха;

снятие сетки кривых нагревания и охлаждения тяговых электродвигателей, предназначенных для магистральных электровозов;

определение веса.

Результаты испытаний также записываются в специальные протоколы и на основании их составляется технический отчет по типовым испытаниям. При этом, если испытуемые машины не удовлетворяют требованиям ГОСТов, хотя бы по одному из пунктов программы, то данный тип машины не может быть рекомендован для серийного производства до тех пор, пока не будут устранены все недостатки и выполнены требования ГОСТов.

В связи с внедрением электрической тяги на переменном токе получают распространение испытания машин переменного тока, применяемых в основном в качестве привода вспомогательного оборудования. Перспективным типом машин для этих целей являются асинхронные двигатели, программа типовых испытаний которых в соответствии с ГОСТ 183—55 следующая:

1) измерение сопротивлений обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии;

2) измерение тока и потерь холостого хода;

3) измерение тока и потерь короткого замыкания;

4) измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между витками;

5) испытания электрической прочности междувитковой изоляции обмоток;

6) испытание электрической прочности изоляции обмоток относительно корпуса машины;

7) испытание при повышенной скорости вращения;

8) испытание на нагревание;

9) проверка гарантированных значений к. п. д., коэффициента мощности и скольжения;

10) испытание на кратковременную перегрузку по току;

11) определение вращающего момента: а) максимального в процессе пуска; б) начального пускового.

Контрольные испытания указанных машин производятся в объеме первых шести пунктов данной программы.

Наряду с перечисленными видами испытаний в практике широко распространены и такие испытания, как специальные, наладочные и исследовательские. Специальные и наладочные испытания проводятся или при наладке опытных образцов машины с целью получения оптимальных характеристик, или по дополнительной программе с целью установления соответствия машин особым требованиям, вытекающим из условий эксплуатации, но не предусмотренных стандартами. Исследовательские испытания имеют место при проведении исследовательских работ по программам самого разнообразного характера.

Цели и задачи проведения таких испытаний могут быть различными, но наиболее распространенными являются: выяснение возможности замены одних материалов другими, менее дефицитными или более экономичными, получение данных, необходимых для проектирования новых машин, разработки и усовершенствования технических процессов, исследование возможности повышения технико-экономических показателей машин путем их совершенствования и т. п.

Специальные и исследовательские испытания зачастую состоят из опытов, аналогичных проводимым при типовых, и поэтому в данной книге им особого внимания не уделяется.

§ 23. Методика контрольных испытаний тяговых машин постоянного тока

На контрольные испытания, которые проводятся на испытательных станциях электромашинных цехов заводов или электродепо в излагаемом ниже порядке, машины поступают в собранном (без отделки) виде и исправном состоянии.

При осмотре машины обязательно проверяется состояние коллектора, установка щеткодержателей, состояние и сопротивление изоляции, проворачиваемость и разбег якоря, положение траверсы щеткодержателя и исправность щеточного аппарата, заправка подшипников смазкой.

В высоковольтных машинах, к которым относятся и тяговые, состояние поверхности коллектора является очень важным фактором, определяющим работу двигателя и его коммутацию. На коллекторе не допускается наличие пластин с острыми краями и заусенцами, грязь между пластинами и остатки графита, краска и масло. Коллектор должен быть без забоин, хорошо прошлифован и продорожен. Биение, измеренное индикатором, не должно превышать 0,04 *мм*. Не допускается при этом также свисание щеток с рабочей поверхности коллектора и прикосновение щеткодержателей к петушкам. Щеткодержатели должны быть надежно закреплены, расположены на равном расстоянии друг от друга и на одинаковой высоте от коллектора и надежно соединены с подводящим кабелем. Давление пружин на щетки должно находиться в пределах 3—3,8 *кг* для тяговых двигателей и в среднем 0,75 *кг* для вспомогательных машин, а щетки должны свободно перемещаться в обойме и не иметь поперечных колебаний.

Особые требования предъявляются и к изоляции машины. Изоляция всех токоведущих частей и соединений должна соответствовать чертежу и иметь для новых машин в холодном состоянии сопротивление не менее 50 *мом* и не иметь повреждений.

Якорь машины должен легко проворачиваться от руки и не задевать за полюса или станину, а траверса с укрепленными на ней щеткодержателями перед испытаниями — находиться на геометрической нейтрали.

Проверка положения траверсы, как правило, производится при неподвижном якоре индуктивным методом, который основан на том, что при нейтральном положении щеток э. д. с. трансформации между обмотками главных полюсов и якоря равна нулю. Для проверки нейтрали к двум щеткам, расположенным друг от друга на расстоянии полюсного деления и установленным примерно по оси главных полюсов, подключается чувствительный магнитоэлектрический вольтметр и в обмотки возбуждения машины подается питание от постороннего источника постоянного тока. Устанавливается ток возбуждения порядка 10—15% от номинального и производятся его включение и выключение. В случае смещения щеток с нейтрали будет иметь место отклонение стрелки вольтметра. При положении щеток на нейтрали отклонение стрелки будет практически равно нулю.

Если щетки смещены с нейтрали, траверса переставляется в новое положение и производятся повторное размыкание и замыкание цепи возбуждения. При этом отмечаются не только величина, но и направление отклонения стрелки прибора. В случае уменьшения показания вольтметра траверсу нужно перемещать в ту же сторону, при увеличении — в обратную.

Проверка холостого хода и вибрации. Перед испытанием под нагрузкой машина проверяется на холостом ходу. Для проверки в этом режиме к выводам двигателей последовательного возбуждения *Я* и *КК* при соединенных *ЯЯ* и *К* подводится напряжение, равное $^1/_8$—$^1/_{10}$ номинального значения, а генераторы приводятся во вращение от привода. При вращающемся якоре с пониженной скоростью проверяется отсутствие вибрации и стука щеток; отсутствие шума от задевания вращающего якоря за полюса и остов; отсутствие стука в подшипниках.

Если результаты удовлетворительны, то скорость вращения повышается до номинальной и машина работает 2—3 *мин*, после чего ее останавливают и производят осмотр щеток и качество их притирки к коллектору. Нормально должно быть притерто не менее 75% рабочей поверхности каждой щетки, в противном случае ее доводят до нормы с помощью стеклянной бумаги.

Машины, устанавливаемые в кузов локомотива, проверяются на вибрацию при холостом ходе. Для этого машину устанавливают свободно на металлическую плиту и обеспечивают скорость вращения якоря до 150% номинальной.

В случае хорошей балансировки якоря и качественной обработки опорных лап машина спокойно стоит на плите, не передвигаясь, при приложении к корпусу руки не ощущается чрезмерная вибрация. Для тяговых генераторов тепловозов допускается максимальная вибрация при номинальной скорости вращения не более 0,07 *мм*.

Измерение омического сопротивления обмоток в холодном состоянии. Сопротивление обмоток в холодном состоянии является важной величиной, от которой зависит правильность определения рабочих характеристик машины. Вследствие этого при измерениях должны соблюдаться условия, обеспечивающие высокую точность замеров.

Одним из основных условий является холодное состояние обмоток, под которым согласно ГОСТ 183—55 понимается такое, когда температура всех частей машины не отличается от окружающей более чем на 3°С. Проверка холодного состояния производится термометром, шарик которого, плотно обернутый станиолем, прикладывается к коллектору, накрывается ватой или асбестом и выдерживается в таком положении не менее 5—7 *мин*. Полученные показания термометра характеризуют температуру обмотки якоря. Если машина длительное время находилась в нерабочем состоянии, то температура всех других частей будет также равна температуре обмотки якоря.

Вторым, не менее важным условием является способ изменения сопротивления обмоток, который обычно правилами не регламентируется и выбирается испытателем в каждом конкретном случае произвольно. Из всех известных способов наиболее распространенным и практически удобным является метод вольтметра-амперметра,

который при условии применения приборов класса 0,2—0,5 обеспечивает высокую точность.

Сущность этого метода заключается в том, что при прохождении по обмотке постоянного тока амперметром замеряется ток, а вольтметром падение напряжения на зажимах обмотки, и по этим величинам определяют сопротивление обмотки.

Для того чтобы получить точные результаты, необходимо вольтметр присоединить непосредственно к выводам измеряемой обмотки, а в качестве источника постоянного тока использовать отдельный генератор с плавным регулированием возбуждения.

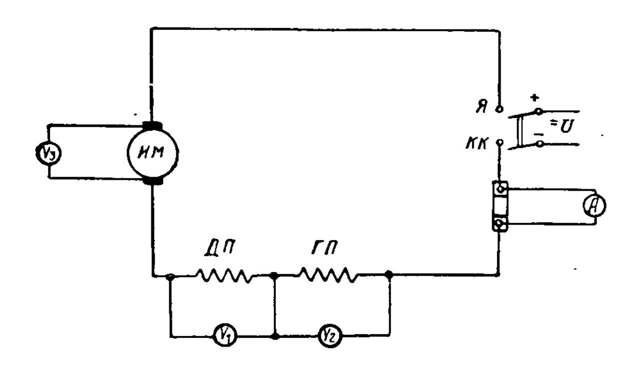


Рис. 47. Схема измерения сопротивления методом вольтметра-амперметра:

А—амперметр для измерения тока *ИМ*; V_3—вольтметр для измерения падения напряжения на якоре; V_2—вольтметр для измерения падения напряжения на главных полюсах; V_1—вольтметр для измерения падения напряжения на добавочных полюсах

Кроме того, количество контактов в цепи следует иметь минимальным и измерения производить быстро, чтобы избежать нагрева обмотки под действием тока, снимая отсчеты одновременно по амперметру и вольтметру.

Замер сопротивления обычно производится по схеме рис. 47, согласно которой для удобства измерений регулируемое напряжение подводится к испытуемой машине *ИМ*. Вольтметры к главным и добавочным полюсам присоединяются с помощью стационарных зажимов, а к обмотке якоря при помощи двух щупов, которые устанавливают на двух коллекторных пластинах, расположенных под срединами щеток различной полярности и находящихся друг от друга на расстоянии одного полюсного деления. Если измерение горячего и холодного сопротивлений производится на одних и тех же пластинах, щупы могут устанавливаться между щетками. Якорь при этом предварительно механически затормаживается во избежание его вращения. В момент замеров ток устанавливается по амперметру *А* равным 20—25% от номинального и при 3—4 различных значениях тока производится отсчет падения напряжения по вольтметрам V_1, V_2, V_3 и измеряется температура окружающей среды. Снятые

замеры записываются в протокол, и по ним на основании закона Ома определяется среднее значение сопротивления обмоток.

Полученное сопротивление для сравнения с расчетным приводится к температуре 20°C по формуле

$$r_{20} = r_t[1 + \alpha(20 - t)], \qquad (31)$$

где r_t — измеренное сопротивление обмотки в холодном состоянии;

r_{20} — сопротивление при температуре 20° C;

t — температура, при которой производилось измерение;

α — температурный коэффициент, равный для медных обмоток

$$\frac{1}{235 + t}.$$

Сопротивление обмоток при температуре 20°C должно соответствовать расчетному с отклонением ±5% для всех новых машин и ±10% для тяговых генераторов тепловозов. Для машин электроподвижного состава после капитального ремонта допускается отклонение сопротивления до ±8%, а после среднего и пропиточного ±10%.

Испытание машин на нагревание. Основной целью испытания машин на нагревание при контрольных испытаниях является определение превышения температуры перегрева обмоток, коллектора и подшипников над температурой окружающей среды при номинальном режиме работы. Испытания начинаются с практически холодного состояния машины и проводятся под нагрузкой, соответствующей или номинальному кратковременному току, указанному на заводском щите машины, или другому току, дающему превышение температуры, соответствующее номинальному режиму. Исходя из этих условий, допускается испытывать машины мощностью до 40 *квт* и рассчитанные на часовой режим работы в течение 30 *мин*, машины большей мощности и рассчитанные на продолжительный (или повторно-кратковременный) режим в течение 1 *ч* при номинальном напряжении для двигателей (или номинальной скорости вращения для генераторов) и токе, обеспечивающем перегревы, соответствующие номинальному режиму. Тяговый генератор испытание на нагревание проходит или в режиме короткого замыкания при номинальном токе нагрузки и номинальной скорости вращения, или при номинальных напряжении, токе и скорости.

Испытание на нагревание состоит из подготовительных операций, пуска и работы машины под нагрузкой и соответствующих измерений температуры в процессе и конце испытаний.

Подготовка к испытаниям. Осмотренная и проверенная машина устанавливается на соответствующий стенд и включается в схему в зависимости от выбранного способа нагрузки.

При испытаниях применяются методы непосредственной нагрузки и метод возвратной работы. Выбор способа нагрузки производится

в зависимости от мощности и системы возбуждения испытуемых машин, наличия испытательного оборудования и т. д. Подробно это рассмотрено в § 30.

После установки машины на стенд собирается испытательная схема и включаются измерительные приборы. При проведении тепловых испытаний чрезвычайно важным является выбор приборов, обеспечивающих высокую точность измерений, в частности необходимо, чтобы при проведении тепловых режимов отклонения стрелок приборов были в последний трети их шкал.

Для измерения температуры окружающей среды применяются термометры, которые устанавливаются на уровне вала якоря в количестве 2—3 шт. так, чтобы они не омывались струей теплого воздуха, выходящего из машины, и находились от машины на расстоянии 1—2 *м*. Температура окружающей среды определяется как среднее значение из показаний термометров и в случае испытания самовентилируемых машин ее принимают для воздуха, охлаждающего машину.

Если машина имеет независимую вентиляцию и охлаждается воздухом от отдельного вентилятора через специальные воздухопроводы (см. описание оборудования испытательных станций в гл. VI), то температура охлаждающего воздуха, как правило, выше, чем температура окружающей среды, вследствие нагревания его за счет трения о лопасти вентилятора и стенки воздухопровода. В этих случаях необходимо отдельно замерять температуру охлаждающего воздуха. Для этого термометры устанавливают в патрубок вентиляционной системы перед входом в двигатель, изолируют их асбестовой бумагой от стенки патрубка и производят измерение температуры охлаждающего воздуха после того, как установлен расчетный расход воздуха. Регулировку расхода воздуха производят при помощи предусмотренных в воздухопроводах заслонок и определяют по статическому напору в коллекторной камере машины, который измеряют дифманометром или микроманометром в *мм вод. ст.* В практике получил широкое распространение U-образный манометр, который прост в обращении, дает показания с достаточной точностью и может быть легко изготовлен. Номинальный расход воздуха для тяговых двигателей ЭДТ-200Б, устанавливаемых на тепловозах ТЭ3, составляет 53 $м^3/мин$ при статическом напоре в коллекторной камере 51 *мм вод. ст.*; для двигателей НБ-406 — 95 $м^3/мин$ при напоре 65 *мм вод. ст.*; для двигателей ДПЭ-400—70 $м^3/мин$ при напоре 48 *мм вод. ст.*

Зависимость статического напора от расхода воздуха выражается опытной кривой, которая определяется для каждого типа машин при типовых испытаниях и должна быть на каждой испытательной станции.

В завершение подготовки к испытаниям проводится определение сопротивления обмоток машин в практически холодном состоянии методом вольтметра-амперметра. При этом коллекторные пластины, на которых измеряется падение напряжения, отмечают

мелом или краской с тем, чтобы их постоянно использовать для последующих измерений в целях получения более точных результатов.

Пуск и работа машины под нагрузкой. В процессе испытания машины под нагрузкой должны подвергаться постоянному контролю ток нагрузки, рабочее напряжение, скорость вращения, температура подшипников, охлаждающей среды и неподвижных обмоток. В случае независимой вентиляции контролируется также расход и температура охлаждающего воздуха.

При измерениях тока и напряжения должны использоваться электроизмерительные приборы не ниже 1-го класса, для определения температуры обмоток из всех известных способов можно рекомендовать метод сопротивления, который является наиболее распространенным и позволяет с высокой точностью определить среднюю температуру проводников обмотки.

Так как из всех измерений, производимых при испытании на нагрев, важнейшим является измерение температуры обмоток, потому что температура их определяет долговечность изоляции, то остановимся на этом более подробно.

Определение температуры методом сопротивления основано на свойстве металлических проводников изменять свое сопротивление пропорционально температуре по линейному закону, выражаемому формулой

$$r_{н} = r_{х}\,[1 + \alpha\,(t_{н} - t_{х})], \qquad (32)$$

где $r_{н}$ — сопротивление проводника в нагретом состоянии;

$r_{х}$ — сопротивление проводника в холодном состоянии;

$t_{н}$ — температура нагрева проводника;

$t_{х}$ — температура, при которой измерено сопротивление $r_{х}$.

Подставив в формулу (32) значение α и произведя преобразования, получим, что температура нагрева медных проводов равняется

$$t_{н} = \frac{r_{н} - r_{х}}{r_{х}}\,(235 + t_{х}) + t_{х}. \qquad (33)$$

Если в формуле (33) число 235 заменить на 245, то она может быть использована и при определении нагрева обмоток из алюминиевых проводников. Таким образом, зная сопротивление обмотки в холодном состоянии и измерив его по окончании работы в режиме нагрузки, всегда можно определить температуру, до которой нагрета обмотка.

Превышение температуры обмоток над окружающей средой (или их перегрев) в этом случае определяется как разность между температурами проводника и окружающей среды по формуле

$$\tau = t_{н} - t_{х} = \frac{r_{н} - r_{х}}{r_{х}}\,(235 + t_{х}). \qquad (34)$$

Эта формула дает правильные результаты только в том случае, когда температура охлаждающего воздуха равна температуре окру-

жающей среды и во время испытаний не изменяется. Если охлаждающий воздух имеет отличную температуру, что наблюдается, как уже отмечалось, при испытании машин с независимой вентиляцией, или температура окружающего воздуха к моменту замера сопротивления изменилась по отношению к холодному состоянию, то, в формулу (34) вводится поправка и она имеет вид

$$\tau = \frac{r_н - r_х}{r_х}(235 + t_х) + (t_х - t_в), \qquad (35)$$

где $t_в$ — температура окружающего (охлаждающего) воздуха при измерении $r_н$.

После завершения всех подготовительных операций производится пуск машины для испытания под нагрузкой с учетом особенностей схем нагрузки и вентиляции.

Если испытуемые машины имеют независимую вентиляцию, то прежде чем включить машины на нагрузку, включается вентилятор и устанавливается необходимое количество охлаждающего воздуха. После установления номинального напряжения, скорости вращения и тока нагрузки в соответствии с режимом испытания включается секундомер и производится отсчет показаний всех измерительных приборов с обязательной записью в соответствующий журнал. При этом измеряются падения напряжения на катушках полюсов испытуемых машин, скорость вращения, температура окружающей среды и подшипников. В случае испытания машин с независимой вентиляцией проверяется также количество охлаждающего воздуха и его температура на входе в машину.

В процессе испытания необходимо тщательно следить за постоянством нагрузки, скорости вращения и за количеством охлаждающего воздуха, снимая через каждые 10—15 *мин* показания всех установленных приборов, фиксируя результаты в журнале. В момент окончания режима испытания производится последняя запись показания приборов, и машины быстро останавливают. При этом фиксируется время и включается секундомер.

Небольшие машины, испытуемые с нагрузочным генератором, останавливаются выключением двигателя и затормаживаются нагрузкой генератора. Если торможение должно быть ускорено, можно после выключения двигателя понижать величину сопротивления нагрузки или применить механическое или пневматическое торможение.

При необходимости остановки машины, испытываемой по схеме взаимной нагрузки, отключается вспомогательный двигатель (или линейный генератор) и прекращается подача воздуха (если машины с независимой вентиляцией).

Затем усиливается возбуждение вольтодобавочной машины таким образом, чтобы ток в испытуемых машинах был близок к току нагрузки при испытании. Так как вращающие моменты спаренных

испытуемых машин направлены встречно друг другу, то в результате этого машины быстро останавливаются.

Для определения температуры обмотки якоря по окончании испытания под нагрузкой якорь после остановки машин устанавливается поворотом от руки в такое положение, чтобы коллекторные пластины, на которых производилось измерение падения напряжения в холодном состоянии, были доступны для определения сопротивления нагретой обмотки якоря. Так как первый замер сопротивления практически возможно осуществить только спустя 25—30 *сек* для малых машин и 30—45 *сек* для больших после остановки, то его величина не может определять температуру обмотки якоря в момент окончания режима. В целях определения этой температуры применяется метод экстраполяции кривой остывания на момент отключения, сущность которого заключается в том, что после отключения машины в течение 8—10 *мин* определяют сопротивление обмотки якоря через каждые 30—40 *сек* и строят кривую зависимости изменения сопротивления от времени. По этой кривой, называемой кривой остывания (рис. 48), определяют уменьшение сопротивления Δr за одинаковые промежутки времени Δt, сопротивление Δr откладывают влево от оси ординат для каждого значения сопротивления.

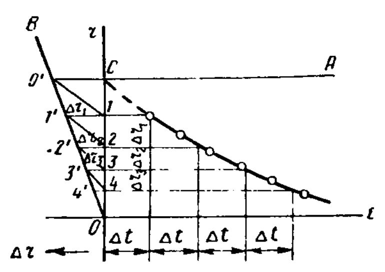


Рис. 48. Экстраполяция кривой изменения сопротивления обмотки на момент выключения

Полученные таким образом точки должны лежать на одной прямой *OB*, а наклонные отрезки *2 — 1'*, *3 — 2'*, *4 — 3'* — быть параллельными друг другу. Проведя отрезок *1*, параллельный *2—1'*, получим на прямой *OB* точку *O'*. Горизонтальная линия *O'A*, проведенная через точку *O'* параллельно оси абсцисс, пересечет ось ординат в точке *C*, дающей искомое сопротивление обмотки в момент выключения нагрузки. Величина промежутков времени Δt может быть выбрана произвольно, но она должна быть не меньше времени от момента выключения до первого замера сопротивления.

Полученное указанным образом сопротивление обмотки якоря подставляют в формулу (35) и при известном значении r_x определяют перегрев обмотки в конце режима. Аналогичным образом подсчитывают перегревы обмоток полюсов и результаты сравнивают с существующими нормами.

Согласно ГОСТ 2582—50 установлены следующие допустимые превышения температуры обмоток машины над температурой окружающей среды, принимаемой +25°С для машин, расположенных под кузовом, и +35°С для машин, расположенных в кузове локомотива (табл. 30).

Для машин с теплостойкой изоляцией допустимые нагревы обусловливаются ГОСТ 8865—58.

Таблица 30

Место установки машины	Части машины	Допустимые превышения температуры			
		Часовой и другой кратковременный режим работы		Длительный и другой повторно-кратковременный режим работы	
		Класс изоляции			
		A	B	A	B
		°С не более			
Под кузовом электроподвижного состава	Обмотки якоря	100	120	85	120
	Обмотки полюсов	100	130	85	130
	Коллектор	95	95	95	95
	Подшипники	55	55	55	55
В кузове электроподвижного состава	Обмотки якоря и полюсов	90	110	75	105 *
	Коллектор	85	85	85	85
	Подшипники	45	45	45	45

* Для тяговых генераторов 120°.

Проверка скорости вращения (или напряжения) при номинальной мощности. Эти испытания производятся немедленно после испытаний на нагревание, так как скорость вращения машины постоянного тока так же, как и ее напряжение, зависит от сопротивления обмоток.

При проверке двигателя, используя рассмотренные в гл. VI методы нагрузки, устанавливают номинальные напряжения и ток нагрузки и при помощи тахометра, тахоскопа или тахогенератора измеряют скорость вращения якоря. После этого машину останавливают, изменяют направление вращения и повторяют аналогичную проверку при вращении якоря в противоположную сторону. Допускаемые отклонения скорости для каждого направления вращения не должны отличаться от номинальных более чем на +4% для новых машин и +5% после ремонта мощностью свыше 40 *квт*; на +6% для вспомогательных машин мощностью свыше 3 *квт*, работающих индивидуально.

У двигателей, предназначенных для вращения в разные стороны, разность между скоростями вращения в одну и другую сторону по отношению к среднему арифметическому суммы номинальных скоростей для двух направлений вращения должна составлять для машин мощностью до 40 *квт* не более 5%, а для машин свыше 40 *квт* не более 4%. Так как соблюдение этих условий является важным фактором для улучшения эксплуатации локомотивов и их тяговых свойств, то для новых тяговых двигателей указанные нормы уменьшены до 3%.

Для проверки номинального напряжения генераторов устанавливают номинальные скорость вращения, ток нагрузки и ток возбуждения и фиксируют величину рабочего напряжения. Отклонение

напряжения от номинального допускается для генераторов мощностью до 100 *квт* включительно ±10%, для генераторов повышенной мощности — ±5%.

Испытание на повышенную скорость вращения. Все электрические машины должны выдерживать повышенную скорость вращения по отношению к максимальной конструктивной. Значение повышенной скорости устанавливается в зависимости от типа машин и их назначения. Для тяговых машин наибольшее превышение скорости по отношению к максимальной, гарантируемой заводом-изготовителем, установлено 20%. При этой скорости машина должна выдерживать работу в течение 2 *мин* и после этого не иметь повреждений и остаточных деформаций, которые могут отразиться на ее нормальной работе.

Проверка способности машин выдерживать повышенную скорость производится в режиме холостого хода, для чего они включаются под регулируемое напряжение и разгоняются до необходимой скорости путем повышения напряжения.

Учитывая серьезные последствия данного вида испытаний, следует соблюдать большую осторожность при повышении скорости вращения, чтобы не допустить превышения числа оборотов свыше установленных 20%, так как это может окончиться аварией машины. Испытуемая машина для большей безопасности подвергается разгону в одиночку.

Проверка коммутации. По окончании испытания на повышенную скорость вращения испытуемая машина вновь сочленяется с нагрузочной и производится проверка коммутации для установления класса искрения на коллекторе при различных (наиболее тяжелых) режимах работы и определения пригодности машины для бесперебойной эксплуатации.

Оценка качества коммутации при контрольных испытаниях производится по степени искрения под сбегающим краем щетки. Нормами в соответствии с ГОСТ 183—55 установлены следующие 5 степеней искрения, называемые классами коммутации:

класс 1 — искрение отсутствует (темная коммутация);

класс $1^1/_4$ — слабое точечное искрение под небольшой частью щетки, приблизительно у одной четверти щеток;

класс $1^1/_2$ — слабое искрение под большей частью щетки примерно у половины щеток;

класс 2 — искрение под всем краем щетки;

класс 3 — значительное искрение под всем краем щетки с наличием крупных вылетающих искр.

Классы коммутации 1—$1^1/_2$ считаются допустимыми для всех номинальных режимов работы, класс 2 — только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузке, класс 3 — недопустим, кроме случаев прямых (без реостатов) включений или реверсирования при условии, что коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы.

Обычно уже при классе 2 на коллекторе появляются следы почер-

нения, не устраняемые протиранием с бензином, и следы нагара щеток, а при классе 3 почернение пластин коллектора становится значительным и имеет место сильный подгар и разрушение щеток.

Проверка коммутации машин производится при различных режимах работы в зависимости от их типа и назначения. Например, коммутация тяговых электродвигателей проверяется: при двойной перегрузке по току и номинальном напряжении; при максимальной конструктивной скорости и напряжении, повышенном на 27% сверх номинального.

Коммутация вспомогательных машин проверяется при полуторной перегрузке по току и номинальном напряжении; при пятикратном запуске установленным порядком и напряжении, повышенном на 27% сверх номинального.

Коммутация тяговых генераторов проверяется при максимально допустимом токе, номинальной скорости вращения и напряжении, имеющем место при данном токе согласно рабочей характеристике, а также при максимальном напряжении по внешней характеристике и номинальной скорости вращения.

Испытания тяговых двигателей в указанных режимах производятся, как правило, по схеме взаимной нагрузки в течение 30 *сек* при вращении каждой из испытуемых машин в обе стороны в режиме двигателя. Регулировка нагрузки или скорости вращения производится при этом плавно, а после реверсирования допускается холостой ход в течение 5 *мин* для притирки щеток.

Вспомогательные машины, получающие питание от контактной сети, испытываются в режиме полуторной перегрузки в течение 1 *мин*, а пуск на повышенном напряжении производится при номинальной нагрузке пять раз подряд с промежутками по времени, достаточными для полной остановки машины. Нагрузка машин осуществляется с помощью генератора.

Вспомогательные машины, работающие в режиме генераторов, проверяются по коммутации при непосредственной нагрузке на сопротивление, равной 150% по отношению к номинальной, и номинальных оборотах в течение 1 *мин*.

Во время испытаний машин всех типов искрение не должно превосходить класс 2 и не должно быть каких-либо механических повреждений частей машины или кругового огня. Коллектор должен быть пригоден к дальнейшей работе без чистки или какого-либо исправления.

Проверка сопротивления и электрической прочности изоляции. Состояние электрической изоляции машины является основным фактором, определяющим ее надежность в работе, и оценивается по величине сопротивления и пробивного напряжения.

Сопротивление измеряется непосредственно после проверки коммутации при температуре обмоток, близкой к рабочей.

Прибором для этого обычно служит мегомметр с максимальным напряжением 500 *в*, что является достаточным для изоляции с сопротивлением до 100 *мгом*.

Перед проверкой испытуемая машина отсоединяется от сети, нагрузочных устройств и измерительных приборов, выводные концы обмоток подвешиваются в свободном состоянии так, чтобы не было соприкосновения с корпусом или землей. Если обмотки разделены на части, имеющие самостоятельные выводы начала и концов их, то измерение сопротивления изоляции производится для каждой части в отдельности. Цепи последовательного питания в машине рассматриваются, как электрически независимые.

Для проведения измерений один из зажимов мегомметра подключают к корпусу машины, а противоположный соединяют поочередно с одним из выводов каждой обмотки. В момент соединения зажимов прибора с обмоткой вращают ручку генератора мегомметра и когда стрелка установится, отсчитывают показание в мегомах. При проверке изоляции обмоток крупных высоковольтных машин, емкость которых по отношению к корпусу может быть сравнительно велика, чтобы получить установившееся значение сопротивления, ручку прибора необходимо вращать более продолжительное время. В таких случаях рекомендуется применять мегомметры с моторным приводом.

Величина сопротивления изоляции обмоток $r_и$ относительно корпуса, измеренная указанным способом, не должна быть меньше значения, вычисленного по формуле

$$r_и = \frac{U}{1\,000 + \frac{P}{100}}, \qquad (36)$$

где U — напряжение сети в *в*, к которой подключается машина при работе;

P — номинальная мощность машины в *ква*.

Для тяговых генераторов и двигателей сопротивление изоляции должно быть не менее 3 *мом*, для низковольтных машин—не менее 0,5 *мом*.

При положительных результатах измерения сопротивления машину незамедлительно проверяют на электрическую прочность изоляции, которая производится повышенным напряжением переменного тока промышленной частоты. Источником высокого напряжения служит однофазный повышающий трансформатор с плавной регулировкой на первичной стороне, подключаемой к сети 220 *в*. Схема такого трансформатора, называемого пробивным, приведена на рис. 28.

Машину для испытаний снимают со стенда и устанавливают на полу вблизи пробивного трансформатора, который обычно отделен от испытательных стендов соответствующей оградой с входом, имеющим блокировку безопасности. Высоковольтные выводы трансформатора подключают к машине — один к корпусу, другой — к выводам испытуемой обмотки, соединенным вместе. В некоторых особых случаях, например, при испытаниях тепловозных генераторов,

имеющих один подшипник, машину испытывают непосредственно на стенде.

Испытания начинают с напряжения, не превышающего одной трети испытательного, и подъем его производят плавно или ступенями, не более 5% от полного значения. При этом время, затрачиваемое на увеличение напряжения от половины до полного значения, должно быть не менее 10 *сек*. Полное испытательное напряжение, величина которого для новых тяговых машин равна $2U + 1\ 000$ *в*, выдерживается в течение 1 *мин*, после чего плавно снижается на две трети и отключается. Значение U при этом равно напряжению, на которое рассчитана изоляция обмоток. Для низковольтных машин или обмоток испытательное напряжение составляет 1 500 *в*.

Машины, вышедшие из ремонта, испытываются более низким напряжением по сравнению с новыми. Для них установлены нормы испытательного напряжения, приведенные в табл. 31.

Таблица 31

Изоляция обмоток по отношению к корпусу в *в*	Величина испытательного напряжения в *в*		
	для капитального ремонта	для среднего ремонта	для пропиточного ремонта
3 000	7 000	5 000	4 000
1 500	4 000	3 000	2 000
Ниже 100	1 500	750	500

Результат испытания считается удовлетворительным, если при испытательном напряжении не произойдет пробоя или перекрытия изоляции обмоток. Явление короны во время испытания допустимо и не является показателем несоответствия изоляции нормам.

После испытания машина подвергается внешнему осмотру, при котором проверяется состояние коллектора, щеток, фарфоровых изоляторов, миканитового конуса, чехлов, бандажей и пр. Вторично прослушивается работа подшипников и щеток и измеряется биение коллектора. Подшипники и щетки должны работать без стука, а биение коллектора не должно превышать нормы. Для тяговых двигателей обычно допустимо биение 0,04 *мм*.

Машина, которая не требует каких-либо исправлений после испытания и удовлетворяет техническим нормам, считается пригодной к эксплуатации.

§ 24. Методика типовых испытаний тяговых машин постоянного тока

На типовые испытания поступают проверенные и находящиеся в полном соответствии с чертежами машины в количестве, оговоренном техническими условиями на поставку.

Испытания проводятся в первую очередь по программе контрольных испытаний, методика которых описана в предыдущем параграфе,

и только при положительных результатах продолжаются по программе типовых.

Определение к. п. д. Опытное определение к. п. д. электрических машин может быть произведено непосредственными или косвенными методами.

Непосредственный метод не является достаточно точным и обычно применяется для машин с невысоким к. п. д. Однако в случае применения тарированного генератора его точность повышается, и он находит применение для машин, имеющих к. п. д. до 80%. При этом нагрузка испытуемой машины, работающей двигателем, создается не механическим тормозом, а тарированным генератором, включенным на какой-либо приемник электрической энергии.

С помощью приборов определяют ток I, проходящий через двигатель, напряжение U, приложенное к нему, и $P_г$ — мощность, отдаваемую генератором. На основании полученных данных вычисляется к. п. д. по формуле

$$\eta_{дв} = 100 \frac{P_г}{UI\eta_г} \%, \tag{37}$$

где $\eta_г$ — к. п. д. тарированного генератора, известный для каждого значения $P_г$.

Если этим методом необходимо определить к. п. д. машины, работающей генератором, то применяется тарированный двигатель.

Для тяговых машин, имеющих к. п. д. более 80%, рекомендуется пользоваться косвенным методом по способам взаимной нагрузки или отдельных потерь.

При обоих способах косвенного метода к. п. д. вычисляется как отношение полезной мощности P_2 к подведенной, выраженной в виде произведения рабочего напряжения на ток UI, т. е.

$$\eta = 100 \frac{P_2}{UI} = 100 \frac{UI - \sum P}{UI} \%, \tag{38}$$

или

$$\eta = 100 \left(1 - \frac{\sum P}{UI}\right) \%. \tag{39}$$

Из формулы (39) видно, что этот метод по сравнению с методами непосредственного определения является более точным, так как значение потерь входит в формулу в виде отношения к полезной мощности, и ошибки измерения на результатах отражаются тем меньше, чем меньше это отношение.

Однако при косвенном методе определения к. п. д. способы взаимной нагрузки и отдельных потерь неравноценны: первый применяется в том случае, когда требуется общая оценка к. п. д., а второй — для отдельного определения потерь каждого вида. Разберем это подробнее.

С п о с о б в з а и м н о й н а г р у з к и. Одинаковые машины по мощности и типу соединяются по схеме взаимной нагрузки с линейным генератором. Затем нагружаются при номинальной скорости вращения так, чтобы среднее арифметическое значение токов якорей обеих машин равнялось их номинальному, а напряжение на якорях отличалось от номинального на величину падения напряжения в якоре в зависимости от того, в каком режиме работает испытуемая машина — в качестве генератора или двигателя.

Величина потерь при испытании по схеме взаимной нагрузки равна мощности, забираемой из сети и отдаваемой вольтодобавочной машиной, т. е.

$$\sum P_{д} + \sum P_{г} = U_{с} I_{с} + U_{в} I_{г}, \qquad (40)$$

где $\sum P_{д}$ — потери в первой испытуемой машине, работающей двигателем;

$\sum P_{г}$ — потери во второй машине, работающей генератором;

$U_{с}$ — напряжение сети;

$I_{с}$ — ток сети;

$U_{в}$ — напряжение вольтодобавочной машины;

$I_{г}$ — ток, проходящий через вольтодобавочную машину.

Если считать, что потери в обеих сочлененных машинах одинаковы, то мощность на валу двигателя может быть определена, как

$$P_{г} = U_{д} I_{д} - \frac{U_{с} I_{с} + U_{в} I_{г}}{2}, \qquad (41)$$

где $U_{д}$ — напряжение на коллекторе двигателя, а $I_{д}$ — ток двигателя. Отсюда к. п. д. двигателя вычисляется по формуле

$$\eta = \frac{P_{г}}{U_{д} I_{д}}. \qquad (42)$$

Недостаток этого способа заключается в том, что он позволяет определить среднее значение к. п. д. двух однотипных машин в предположении, что потери у них равны. В действительности у машин с одинаковыми паспортными данными потери не могут быть одинаковы, так как имеет место разница в сопротивлении обмоток, скорости вращения и пр.

Для большей точности определения к. п. д. этим способом замеры необходимо производить только после того, как обмотки машин нагреты до рабочей температуры.

С п о с о б о т д е л ь н ы х п о т е р ь. Этот способ является более совершенным и заключается в том, что в машине опытным путем определяют отдельно потери электрические $P_{э}$, магнитные $P_{маг}$, механические $P_{мех}$, добавочные $P_{доб}$ и потери в щеточных контактах $P_{щ}$; их сумму подставляют в формулу (39), по которой величина к. п. д. определяется достаточно точно.

Определение потерь производится следующим образом.

Электрические потери в каждой обмотке определяют как произведение тока и сопротивления, измеренное описанным выше способом и приведенное к рабочей температуре 75° С для изоляции класса А и 100° С для класса В, по формуле (33), где $r_н$ — сопротивление обмотки при $t_н$, равной 75° или 100° С;

$r_х$ — сопротивление обмотки при температуре окружающей среды $t_х$.

Потери в переходных контактах щеток равны произведению тока и падения напряжения на двух щетках, которое по нормам составляет 3 *в* для щеток без шунтов и 2 *в* с шунтами.

Добавочные потери обычно принимают по нормам ГОСТ 2582—50, указанным в табл. 32.

Таблица 32

Ток в % от номинального	20	60	80	100	130	160	200
Добавочные потери в % от магнитных потерь при холостом ходе	22	23	26	30	38	48	65

Магнитные и механические потери, называемые потерями холостого хода, определяют по методу независимого возбуждения при холостом ходе машины. Они складываются из потерь в стали сердечника якоря на вихревые токи и гистерезис, зависящие от напряжения и скорости вращения, и потерь механических на трение в подшипниках, щетках и якоря о воздух, которые зависят только от скорости вращения.

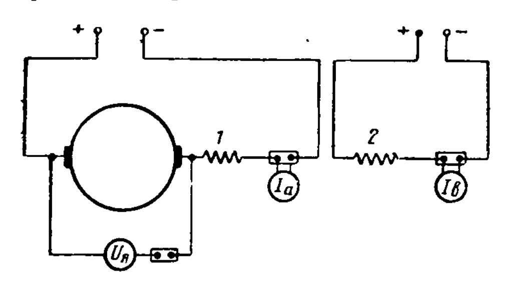


Рис. 49. Схема для определения потерь холостого хода:
1 — добавочные полюса; *2* — главные полюса

Для определения указанных потерь холостого хода обмотки испытуемой машины включаются по схеме рис. 49, устанавливается постоянное (допустим, номинальное) значение тока возбуждения и при различных значениях напряжения на зажимах цепи якоря определяют по току $I_а$ и напряжению $U_я$ мощность, подводимую к двигателю во всем диапазоне скорости вращения якоря (от минимальной до максимальной). После этого несколько раз изменяют ток возбуждения и подобные измерения снова повторяют. Пренебрегая потерями в меди обмотки якоря, так как они очень малы, можно считать что измеренная мощность идет на покрытие магнитных и механических потерь при установленном токе возбуждения.

Указанные потери обычно определяют в диапазоне токов возбуждения, составляющих 20÷200% от номинального значения,

и по результатам испытаний строят семейство кривых $P_{xx} = f(n)$ при $I_в = const$ (рис. 50), где P_{xx} — потери, n — скорость вращения и $I_в$ — ток возбуждения.

Для выделения механических потерь из найденных потерь холостого хода у машин последовательного возбуждения их обмотки соединяют по схеме рис. 51, подводят регулируемое напряжение и осуществляют опыт холостого хода при последовательном соединении обмоток. В процессе опыта при различной скорости вращения машины измеряют ток и напряжение и определяют мощность, которая расходуется на покрытие механических потерь, так как электрические и магнитные потери при этом практически равны нулю.

По данным этих измерений также строят зависимость $P_{мех} = f(n)$, которую для удобства наносят на один график с потерями холостого хода (рис. 50).

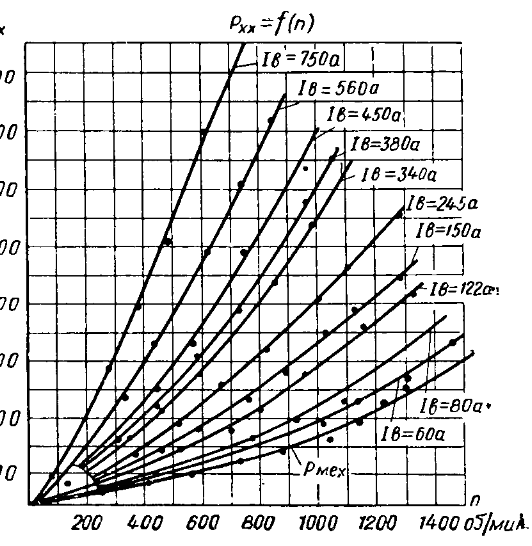


Рис. 50. Кривые потерь холостого хода. $P_{xx} = f(n)$

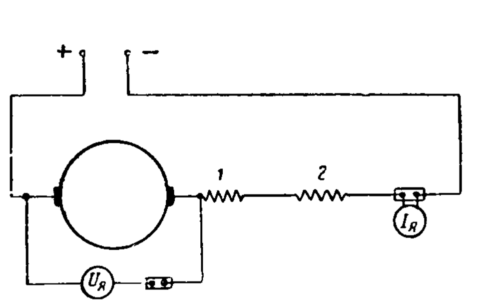


Рис. 51. Схема для определения механических потерь:
1 — добавочные полюса; *2* — главные полюса

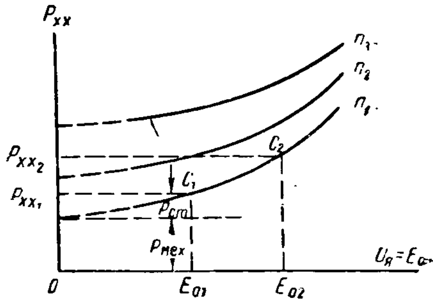


Рис. 52. Кривые потерь холостого хода в зависимости от напряжения при постоянных оборотах $P_{xx} = f(E_0)$

Если из потерь холостого хода графически вычесть механические потери, то полученная разность составит магнитные потери в стали машины.

Разделение потерь холостого хода на магнитные и механические можно произвести и не проводя опыта холостого хода по схеме рис. 51. Для этого по полученным данным при определе-

нии суммарных потерь холостого хода необходимо построить кривые $P_{xx} = f(U_я)$ при $n = \text{const}$ и, экстраполируя их, продолжить до пересечения с осью ординат, на которой они отсекут отрезки, равные в масштабе механическим потерям для каждого значения скорости вращения. По найденным значениям механических потерь строится зависимость $P_{мех} = f(n)$, с помощью которой вычисляют магнитные потери. Этот способ можно рекомендовать при испытаниях машин с независимым возбуждением, для которых проведение опыта холостого хода по схеме рис. 51 не представляется возможным. При этом необходимо отметить, что вследствие погрешностей при экстраполяции кривых механические потери указанным методом определяются менее точно по сравнению с опытом холостого хода. Для уменьшения неточности можно применить следующий способ для нахождения механических потерь по кривым $P_{xx} = f(U_я)$ при $n = \text{const}$ (рис. 52), который основан на предположении, что магнитные потери приближенно пропорциональны квадрату индукции, т. е. квадрату значения магнитного потока. Так как поток при постоянной скорости вращения пропорционален э. д. с. двигателя, то можно считать, что потери в стали пропорциональны квадрату э. д. с. Тогда уравнение кривой

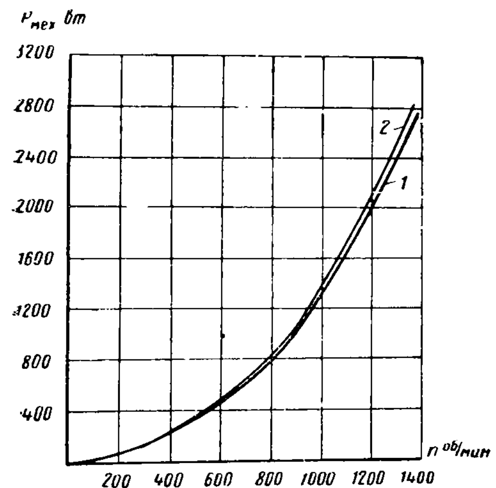


Рис. 53. Кривые механических потерь двигателя типа НБ-430:

1 — потери, определенные из опыта холостого хода по формуле (44); 2 — потери, определенные по схеме рис. 51

$$P_{xx} = P_{мех} + P_{ст} = P_{мех} + KE_0, \tag{43}$$

где K — коэффициент пропорциональности;

E_0 — э. д. с. двигателя (при холостом ходе считаем $E_0 = U_я$).

Взяв на кривой $P_{xx} = f(U_я)$ две произвольные точки C_1 и C_2, для которых потери и э. д. с. соответственно равны P_{xx1} и P_{xx2}; E_{01} и E_{02}, получим уравнения:

$$P_{xx1} = P_{мех} = KE_{01}^2;$$

$$P_{xx2} = P_{мех} = KE_{02}^2.$$

Отсюда найдем

$$P_{мех} = \frac{P_{xx1} E_{02}^2 - P_{xx} E_{01}^2}{E_{02}^2 - E_{01}^2}. \tag{44}$$

Используя формулу (44), находим из кривых рис. 52 значения механических потерь для различных значений скорости вращения. На рис. 53 приводятся для сравнения кривые $P_{мех} = f(n)$, определенные указанным способом, и из опыта холостого хода по схеме рис. 51 для мотор-вентилятора НБ-430. Сравнение кривых указывает на их близкую сходимость.

Наряду с разделением потерь холостого хода на магнитные и механические иногда по условиям испытаний возникает необходимость разделения магнитных потерь на потери от гистерезиса $P_г$ и потери от вихревых токов $P_в$, а механические — на потери от трения в щетках, вентиляционные и др. Для разделения магнитных потерь воспользуемся известным положением, что при одной и той же индукции потери от гистерезиса пропорциональны первой степени скорости вращения, а потери от вихревых токов второй, т. е. $P_г = an$, а $P_в = bn^2$, тогда $P_{ст} = P_{хх} - P_{мех} = an + bn^2$.

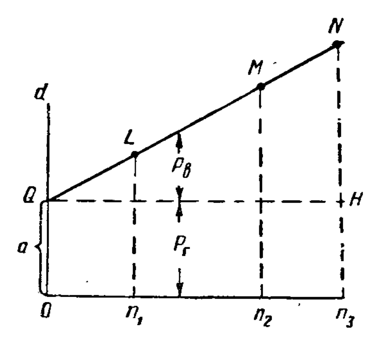


Рис. 54. Зависимость магнитных потерь, отнесенных к одному обороту якоря при различных значениях скорости вращения

Если из этого уравнения найдем потери в стали, приходящиеся на один оборот, то получим

$$\frac{P_{ст}}{n} = d = a + bn, \qquad (45)$$

т. е. уравнение прямой линии, которая в координатной системе d, n отсекает на оси ординат отрезок a (рис. 54).

Пользуясь этим, процесс разделения потерь можно производить следующим образом: а) для каких-либо трех и более значений скорости вращения n_1, n_2, n_3,... находят по кривой $P_{хх} = f(n)$ (см. рис. 50) значения $d_1 = \frac{P_{хх1} - P_{мех1}}{n_1}$,

$$d_2 = \frac{P_{хх2} - P_{мех2}}{n_2} \text{ и т. д.;}$$

б) наносят их на систему координат $d - n$ и получают точки L, M и N, которые соединяют прямой до пересечения с осью ординат в точке Q; в) из точки Q проводят прямую QH, параллельную оси абсцисс, тогда отрезки ординат между прямыми LMN и QH составляют потери на вихревые токи за один оборот, а между QH и On потери на гистерезис за этот же оборот якоря. Умножив эти потери на соответствующее число оборотов, получают искомые потери $P_г$ и $P_в$.

При необходимости разделения механических потерь на составные части — это обычно проводится или при опыте холостого хода, или при помощи тарированного двигателя, соединенного механически с испытуемой машиной. Первый способ дает менее точные

результаты, но более прост, второй является более точным, но требует дополнительного оборудования.

Для определения потерь на трение под щетками при опыте холостого хода по схеме рис. 51 снимается зависимость механических потерь от скорости при полном количестве щеток, установленных на коллекторе, и при уменьшенном, например вдвое, и для обоих случаев строятся кривые $P_{мех} = f(n)$. Разность между такими кривыми дает величину потерь на трение под снятыми щетками — $\Delta P_{ш}$.

Если положить, что потери на трение под каждой щеткой одинаковы, то общие потери под всеми щетками определяются по формуле

$$P_{щ} = \frac{\Delta P_{ш}}{m} g, \tag{46}$$

где g — общее количество щеток на коллекторе;

m — количество щеток, снятое при опыте.

Потери на вентиляцию для машин самовентилируемых определяют по разности потребления энергии двигателем, работающим вхолостую при незаглушенных и заглушенных вентиляционных отверстиях. Для этого в обоих случаях снимают кривые механических потерь, которые графически вычитают одна из другой. Если необходимо получить более точные результаты, то эти кривые надо снять при насаженном на вал якоре и снятом вентиляторе.

Если требуется особенно точное разделение механических потерь, то необходимо применение тарированного двигателя, вращающего испытуемую машину в невозбужденном и отключенном состоянии. При этом потери определяют путем измерения полезной мощности тарированного двигателя. Разность полезных мощностей при установленных и полностью снятых щетках или открытых и заглушенных отверстиях в машине соответственно дает потери трения под щетками или на самовентиляцию.

Используя все вышеизложенные методы разделения потерь, всегда можно найти для различных нагрузок и режимов работы величины как отдельных потерь, так и их суммы и с помощью формулы (39) достаточно точно рассчитать к. п. д. машины и построить зависимость $\eta = f(I)$ при $U = \text{const}$.

Для тяговых двигателей и вспомогательных машин эту зависимость строят для тех режимов работы, при которых снимают скоростные характеристики, а для тяговых генераторов — при рабочих скоростях вращения.

Снятие скоростных характеристик. Скоростные характеристики, представляющие зависимость скорости вращения от тока нагрузки, снимают для машин, работающих в режиме двигателей. Особенно большое значение они имеют для тяговых двигателей, так как по ним производится построение электротяговых характеристик локомотивов.

Для снятия скоростных характеристик испытуемые машины устанавливают на стенд и собирают нагрузочную схему. Обычно вспомогательные машины нагружают по схеме с нагрузочным генератором, а тяговые двигатели по схеме взаимной нагрузки (рис. 55), в которой предусмотрена возможность изменения не только тока нагрузки и напряжения сети, но и степени возбуждения. Так как скорость вращения зависит от сопротивления обмоток, что видно из известной формулы

$$n = \frac{U_д - I_д \sum r}{C\Phi}, \qquad (47)$$

то перед началом испытаний машины нагревают до рабочей температуры током нагрузки. Для получения более точных результатов нагрев рекомендуется производить до 70—75° для машины с изоляцией класса А и 90—110° С с изоляцией класса В под нагрузкой в течение 45—60 *мин*, чтобы подшипники также прогрелись до нормальной температуры.

Снятие скоростной характеристики для машин последовательного возбуждения производится при постоянном напряжении и различных токах нагрузки путем одновременного измерения тока якоря и скорости вращения тахометром или тахоскопом, что является удобным и обеспечивает достаточную точность.

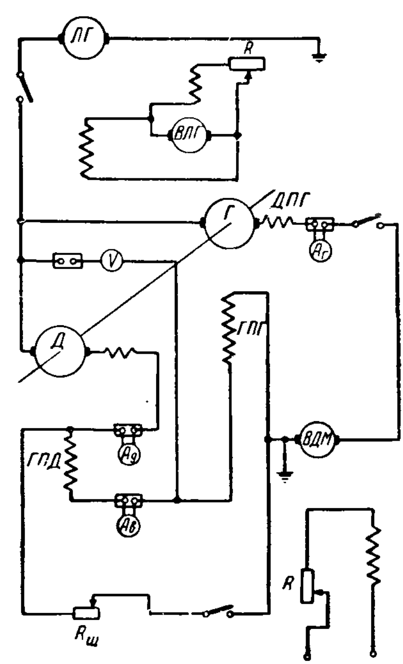


Рис. 55. Схема взаимной нагрузки при снятии скоростных характеристик тяговых двигателей

Характеристика снимается для обоих направлений вращения в диапазоне скорости от максимально допустимой до минимальной, соответствующей двойной перегрузке, и строится в виде средней зависимости скорости вращения якоря от тока нагрузки при постоянном напряжении сети.

Для тяговых двигателей снятие и построение скоростных характеристик производится при номинальном напряжении и всех ступенях ослабления поля возбуждения и значениях напряжения, соответствующих последовательно-параллельному и последовательному соединениям двигателей в схеме локомотива. Если при этом на этих соединениях предусмотрено ослабление поля, то характеристика также снимается и для этих режимов работы. Степень ослабления поля возбуждения во всех случаях устанавливается по показаниям амперметров в цепи якоря и возбуждения (см. рис. 55) и вычисляется как отношение тока возбуждения к току якоря, т. е.

$$\beta = \frac{I_в}{I_я}. \qquad (48)$$

В процессе испытаний на ослабленном поле следует следить за постоянством отношения (48), так как в связи с неодинаковым изменением температуры обмоток возбуждения и шунтирующего сопротивления оно может изменяться. Кроме того, при испытаниях необходимо вести наблюдение за искрением щеток и отмечать класс коммутации.

Для вспомогательных машин, работающих от контактной сети, характеристики снимаются при номинальном напряжении сети и пониженном до минимально допустимого по нормам. При этом если работа машины предусмотрена с демпферным сопротивлением, то при испытаниях оно также должно быть обязательно включено в схему или подводимое напряжение уменьшено на величину падения напряжения в этом сопротивлении. При испытании машин с независимым или смешанным возбуждением, применяемых на локомотиве в качестве привода вспомогательного оборудования, они нагружаются по схеме с нагрузочным генератором, только питание обмоток независимого возбуждения подается от отдельного источника тока.

Характеристики холостого хода и нагрузочные. Характеристика холостого хода определяет зависимость э. д. с. (или напряжения) ненагруженной машины E при работе в генераторном режиме от тока возбуждения $I_в$ при номинальной скорости вращения n и является кривой намагничивания машины $\Phi = f(I_н)$ в определенном масштабе. Обычно характеристику холостого хода строят в системе координат $E/n = f(I_н)$, что является весьма удобным для практических целей. Например, для перехода к кривой намагничивания достаточно значения ординаты E/n разделить на величину C, которая равна

$$C = \frac{p}{a} \cdot \frac{N}{60},$$

так как

$$\Phi = \frac{60a}{pN} \cdot \frac{E}{n} 10^8, \qquad (49)$$

где p — число пар полюсов;
a — число параллельных ветвей обмотки якоря;
N — число проводников обмотки якоря;
Φ — магнитный поток одного полюса в *мкс*.

Для снятия характеристики холостого хода машина возбуждается по схеме независимого возбуждения (см. рис. 49) и в ненагруженном состоянии вращается посторонним двигателем с постоянной скоростью (желательно с номинальной). При изменении тока возбуждения в диапазоне от нуля до максимального по условиям перегрузки определяется величина э. д. с. якоря при различных значениях тока возбуждения

Данные записываются в таблицу и строится зависимость $\frac{E}{n} = f(I_в)$.

Вследствие явлений гистерезиса кривая холостого хода, снятая при увеличении тока возбуждения, не совпадает с кривой, снятой при его уменьшении, поэтому рекомендуется снимать обе кривые и по ним строить среднюю. При этом непременным условием является изменение тока возбуждения только в одном направлении. Например, если кривая снимается при уменьшении тока, то он должен только убывать, при увеличении — только возрастать. Несоблюдение этого условия понижает точность измерений и искажает вид кривой.

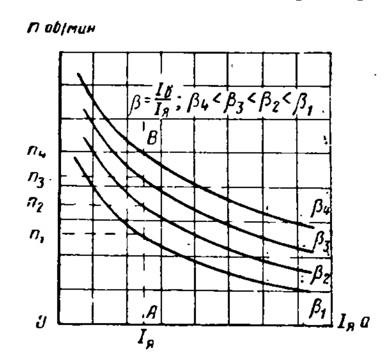


Рис. 56. Скоростные характеристики двигателя при различных токах возбуждения в зависимости от тока якоря

Так как при построении кривой холостого хода на оси ординат откладывают не значение э. д. с., а его отношение к скорости вращения, то некоторые отклонения скорости от установленной практического значения не имеют. Это существенно облегчает проведение испытания больших машин.

Если при снятии кривой холостого хода не требуется высокая точность, то указанные характеристики могут быть построены из данных опыта определения потерь холостого хода путем расчета величины E/n для различных значений тока возбуждения.

Нагрузочная характеристика снимается и строится только для тяговых двигателей, работающих в режиме торможения с возвратом электрической энергии в сеть, и для генераторов, предназначенных на локомотиве в качестве источников энергии для цепей возбуждения управления и силовых цепей. Эти характеристики представляют собой зависимость напряжения на якоре нагруженного генератора от тока возбуждения при постоянной скорости и показывают, как изменяется характеристика холостого хода (или намагничивания) при переходе к нагруженному состоянию в связи с искажением основного потока реакцией якоря и падением напряжения в цепи якоря.

Для снятия нагрузочных характеристик собирают схему, аналогичную опыту холостого хода (см. рис. 49), в цепь якоря включается нагрузочный реостат, изменением сопротивления которого можно регулировать нагрузку, устанавливают номинальную скорость вращения при минимальном возбуждении и измеряют напряжение якоря, ток возбуждения, нагрузки и скорость вращения.

Поддерживая установленную скорость и нагрузку постоянными, подобные измерения повторяют для различных значений тока

возбуждения, увеличивая и уменьшая его. По средним результатам измерений строят зависимость $U = f(I_в)$ при $I_я = \text{const}$.

Если все то же самое проделать при других значениях тока нагрузки, отличных от номинальных, но лежащих в рабочем диапазоне, то получится серия кривых, представляющих нагрузочные характеристики испытуемой машины.

В практике иногда нагрузочные характеристики строятся, как зависимость $\frac{E}{n} = f(I_в)$ или $\frac{U}{n} = f(I_в)$, чем значительно облегчается проведение эксперимента, так как не требуется строгого поддержания скорости вращения.

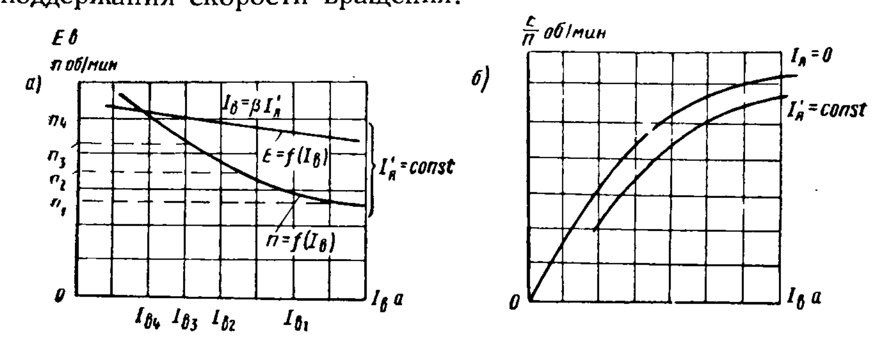


Рис. 57. Кривая э. д. с. и скоростная характеристика двигателя при постоянном токе якоря в зависимости от тока возбуждения

При испытании мощных машин снятие характеристик методом непосредственного нагружения является неэкономичным и иногда технически невозможным. В этих случаях построение таких характеристик производится косвенными методами. Например, нагрузочная характеристика может быть легко построена, если известны характеристики холостого хода и короткого замыкания с применением характеристического треугольника, по методам, изложенным в общих руководствах испытания машин, или на основании скоростных характеристик, снятых опытным путем.

Для тяговых двигателей нагрузочные характеристики, как правило, строятся по скоростным характеристикам, так как испытание по схеме непосредственной нагрузки затруднительно и требует сложного оборудования. Суть такого построения заключается в следующем.

Имея скоростные характеристики $n = f(I)$, снятые при различных степенях ослабления поля возбуждения β (рис. 56), задаются током якоря $I_я$, при постоянном значении которого необходимо построить нагрузочную характеристику (точка A, рис. 56). Из этой точки восстанавливают перпендикуляр AB, пересечение которого с кривыми скорости, соответствующих различным значениям тока возбуждения, позволяет определить скорость вращения в зависимости от тока возбуждения $I_в$ при выбранном значении тока якоря и построить кривую $n = f(I_в)$ при $I_я = \text{const}$ (рис. 57,*а*).

Зная величину напряжения U, при котором снимались скоростные характеристики, и рассчитав падение напряжения в испытуемой машине, определяют значение э. д. с. якоря по формуле

$$E = U - I_я (r_я + r_{д.\,п}) - r_в I_в - \Delta U_щ, \qquad (50)$$

где $r_я + r_{д.\,п}$ — сопротивление якоря и добавочных полюсов при рабочей температуре;

$r_в$ — сопротивление главных полюсов;

$\Delta U_щ$ — падение напряжения под щетками.

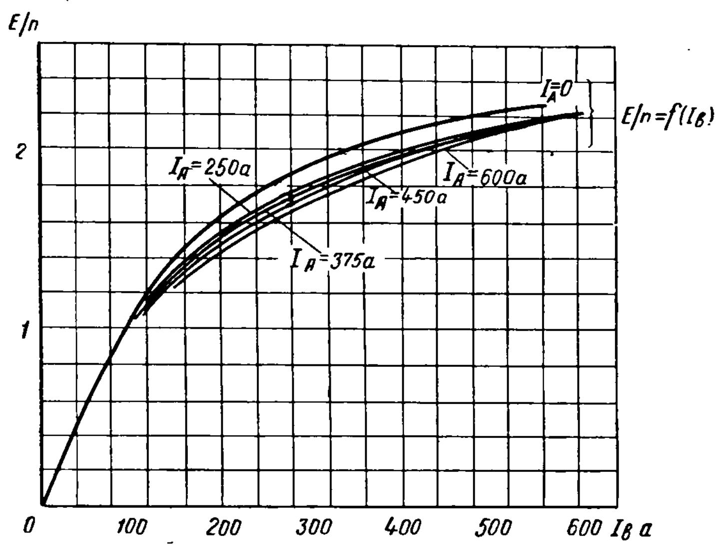


Рис. 58. Характеристики холостого хода и нагрузочная в зависимости от тока возбуждения

Полученные значения наносят на график в виде кривой $E = f(I_в)$ при $I_я = \text{const}$ (см. рис. 57, *а*).

При различных значениях тока возбуждения ($I_{в1}$, $I_{в2}$) находят отношение э. д. с. к скорости вращения, а именно: $\frac{E_1}{n_1}$; $\frac{E_2}{n_2}$;... и наносят их также на график. Полученная кривая $\frac{E}{n} = f(I_в)$ при $I_я = \text{const}$ есть нагрузочная характеристика для выбранного значения тока якоря (рис. 57, *б*).

Если задаться несколькими значениями тока якоря и провести подобные построения, то получим серию нагрузочных кривых для данного типа двигателей. На рис. 58 приводятся нагрузочные характеристики, построенные таким способом для тягового двигателя типа НБ-406.

Построение рабочих характеристик. Рабочие характеристики представляют собой зависимости для электродвигателей скорости вращения, вращающего момента и к. п. д. на валу от тока якоря; для

генераторов — напряжения и к. п. д. на валу от тока якоря при рабочих скоростях вращения.

Методы определения к. п. д. машин и построения скоростных характеристик выше уже рассматривались. Зная эти две основные

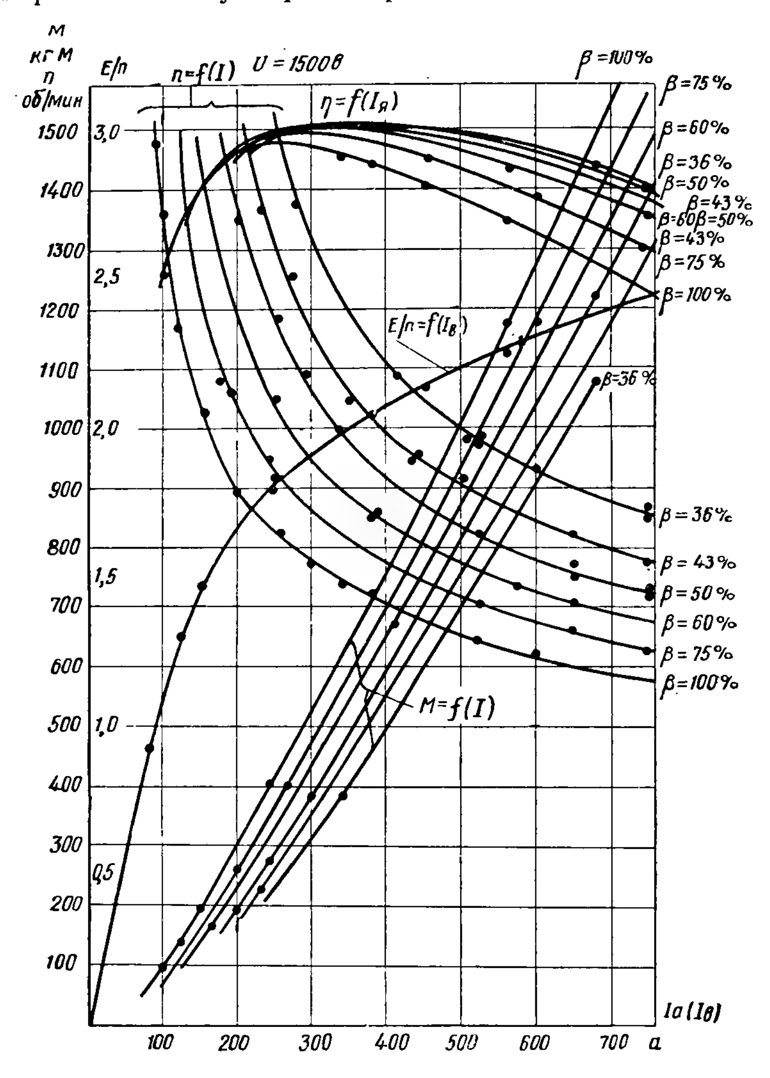


Рис. 59. Рабочие характеристики тягового двигателя НБ-406А электровозов Н8 и ВЛ23

зависимости, можно построить и зависимость момента на валу испытуемой машины от тока якоря по формуле

$$M = 974 \frac{P_{пол}}{n} \ кгм, \tag{51}$$

где $P_{пол} = UI\eta$ — полезная мощность.

Рабочие характеристики тяговых двигателей строятся при различных значениях напряжения на коллекторе и степенях ослабления магнитного поля возбуждения; вспомогательных машин при номинальном напряжении и минимально допускаемым в эксплуатации. На рис. 59 приведены такие характеристики тягового двигателя типа НБ-406А.

При испытании генераторов зависимость их напряжения от тока якоря при рабочей скорости вращения и постоянном возбуждении, так называемая внешняя характеристика, строится для всех ступеней регулирования тока возбуждения в пределах от холостого хода до максимально допустимого. При этом если машина работает на самовозбуждении, то положение органов регулирования в процессе испытаний должно оставаться неизменным, если возбуждение смешанное, то постоянным поддерживается только ток в независимой обмотке, а в последовательной изменяется в зависимости от нагрузки.

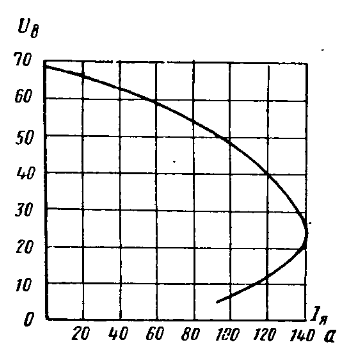


Рис. 60. Внешняя характеристика генератора управления ДК-405К электровоза Н8

Построение внешней характеристики может быть произведено или опытным путем или путем перестройки серии нагрузочных характеристик из координат $U = f(I_в)$ при различных $I_я = \text{const}$ в координаты $U = f(I_я)$ при различных $I_в = \text{const}$.

Опытное определение внешних характеристик производится аналогично снятию нагрузочных с той лишь разницей, что постоянным поддерживается не ток якоря, а ток возбуждения и изменяется нагрузка генератора.

На рис. 60 приведена внешняя характеристика генератора управления ДК-405К с самовозбуждением.

Определение зоны наилучшей коммутации. Коммутация является важнейшим фактором, определяющим пригодность машины постоянного тока к работе, и представляет весьма сложный процесс, зависящий от большого числа причин.

Основными из них являются: соответствие марки щеток условиям работы машины и равномерность нажатия пружин щеткодержателей, состояние поверхности коллектора, правильность расстановки щеток и тщательность их приработки к коллектору, отсутствие биения коллектора и вибрации щеточного аппарата, правильность выбора конструктивных и обмоточных данных и установки добавочных полюсов, правильность выбора формы магнитного поля машины, распределения потенциала по коллектору и др.

Для оценки качества коммутации имеется ряд методов, и один из них рассмотрен в методике контрольных испытаний, но наиболее ясное представление об условиях коммутации дает способ определения безыскровой зоны, предложенный В. Т. Касьяновым. Этот метод

заключается в том, что при каждом значении нагрузки определяют верхний и нижний пределы тока в обмотке добавочных полюсов, между которыми коммутация остается темной. При типовых испытаниях тяговых машин обычно устанавливается область, ограниченная этими пределами, называемая зоной безыскровой работы, и также зона допустимого в эксплуатации искрения, ограничиваемая значением тока, при котором имеет место искрение 2-го класса.

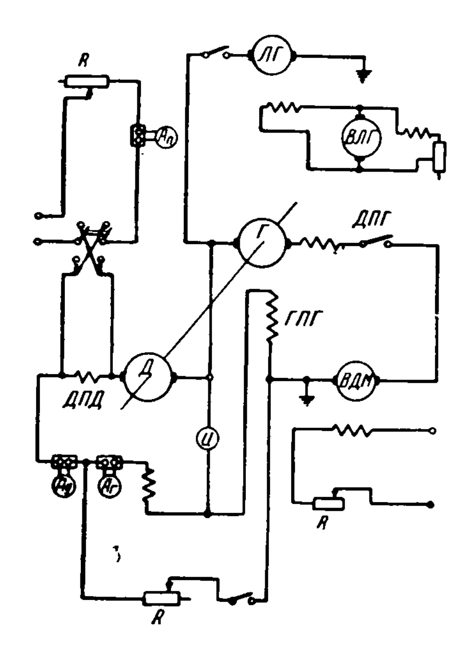


Рис. 61. Схемы подпитки и отпитки для определения зоны наилучшей коммутации при испытании машин: *а* — по схеме возвратной работы;

Изменение тока в обмотках добавочных полюсов можно осуществлять или путем независимого питания добавочных полюсов, или подпитки от отдельного источника постоянного тока. В первом случае источник питания и цепь добавочных полюсов включаются последовательно, во втором — параллельно. Принципиальная схема положительной и отрицательной подпитки для тяговых машин при испытании их по схеме взаимной нагрузки приведена на рис. 61. Аналогичная схема применяется и при испытании по схеме с нагрузочным генератором или по схеме непосредственной нагрузки.

Опыт по определению зоны допустимого искрения проводится следующим образом.

Пустив машины, аналогично испытанию под нагрузкой, и установив при нормальном напряжении минимально возможный нагрузочный ток якоря испытуемого двигателя, увеличивают н. с. добавочного полюса путем усиления возбуждения генератора подпитки и одновременно ведут наблюдение за искрением под сбегающим краем щетки.

В момент появления первых признаков искрения измеряют ток якоря и ток подпитки и затем продолжают увеличивать его до начала искрения 2-го класса, при котором снова измеряют указанные величины.

После этого ток подпитки уменьшают до нуля, изменяют его направление, н. с. добавочных полюсов снижается путем отрицательной подпитки. При этом также производят аналогичные измерения в момент начала искрения и достижения 2-го класса.

Такие опыты производят для 4—5 значений тока якоря, и по результатам строят кривые положительной и отрицательной под-

питки в виде зависимости $\frac{i_n}{I_я} = f(I_я)$ для каждой щетки и направления вращения.

В целях удобства наблюдения за искрением в процессе испытаний устанавливается коллекторный люк со стеклом или в подшипниковых щитах делают специальные отверстия.

На рис. 62 приведены кривые положительной и отрицательной подпитки, ограничивающие зону допустимого в эксплуатации искрения для двигателя НБ-406А, анализируя которые можно дать оценку качеству коммутации при различных параметрах магнитной системы добавочных полюсов.

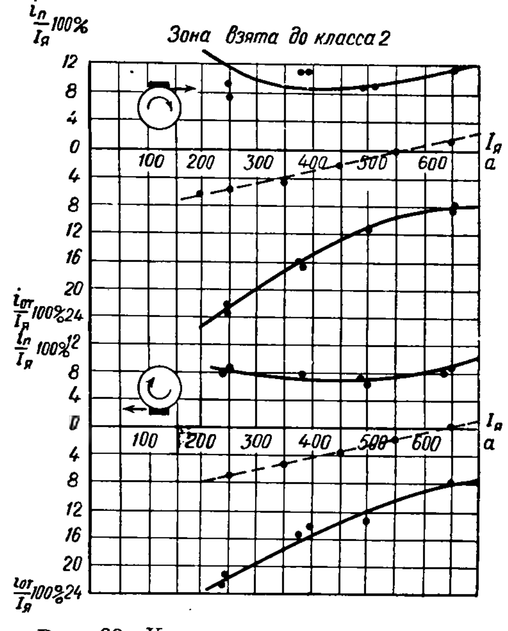


Рис. 62. Кривые подпитки и отпитки, ограничивающие зону искрения тягового двигателя НВ-406А до второго класса искрения

Суждение о коммутации может быть высказано на основании ширины зоны искрения, величины отклонения средней линии от оси абсцисс и ее кривизны. Чем больше ширина зоны безыскровой работы и зоны допустимого искрения при каждой величине нагрузки, тем надежнее и устойчивее безыскровая коммутация. Чем выше расположена средняя линия от оси абсцисс, тем сильнее машина недокоммутирована, чем ниже, тем больше перекоммутирована.

Кривизна средней линии, как показывает опыт, зависит от степени компенсации реакции якоря. Чем лучше компенсирована машина, тем больше приближается средняя линия к прямой.

О правильности расположения щеток на геометрической нейтрали можно судить по совпадению зон искрения. Чем лучше совпадение, тем точнее установлены щетки в нейтральном положении. Вследствие наличия технологических допусков и погрешностей измерений при изготовлении и ремонте возможна неточная установка щеток, а следовательно, и некоторое расхождение характеристик.

Определение безыскровой зоны позволяет судить о правильности выбора конструктивных и обмоточных данных добавочных полюсов. Поскольку коммутация машины трудно поддается расчету и надежность его невысока, то при выпуске новых электрических машин, в особенности таких, как тяговые, приходится доводку ком-

мутации производить опытным путем. При этом зачастую производится подбор более благоприятной ширины наконечников, величины зазоров и числа добавочных полюсов. Наилучшими полюсными наконечниками считаются такие, которые при прочих равных условиях обеспечивают наибольшую ширину безыскровой зоны. Идеальным положением при выборе оптимальных параметров магнитной системы добавочных полюсов является совпадение средней линии с осью абсцисс на всем протяжении. Отклонение ее от оси абсцисс вверх свидетельствует о том, что добавочные полюса слишком сильные, при отклонении вниз — слишком слабые.

Простейшим способом усиления или ослабления полюсов является уменьшение или увеличение сопротивления магнитной системы путем изменения воздушных зазоров или, если этого недостаточно, то изменением числа витков обмотки добавочных полюсов. При подсчете изменения величины зазоров необходимо исходить из того, что зазор между сердечником полюса и якорем, называемый первым, по технологическим соображениям целесообразно иметь не меньше зазора под главными полюсами, а зазор между сердечником полюса и магнитопроводом остова, называемый вторым, не рекомендуется выбирать слишком маленьким, чтобы не иметь плохой коммутации при переходных процессах вследствие действия вихревых токов станины.

Величину первого зазора при небольших изменениях, примерно $\pm 20\%$, можно, используя результаты опыта, определить по формуле, предложенной В. Т. Касьяновым,

$$\delta' = \frac{\delta}{1 + \frac{i_{п}}{I} \cdot \frac{\nu}{\nu - 1}}, \qquad (52)$$

где δ' — новая и δ — прежняя величина зазора;

I — ток нагрузки;

$i_{п}$ — ток подпитки, соответствующий отклонению средней линии от оси абсцисс;

ν — отношение н. с. добавочных полюсов к н. с. реакции якоря.

В случае необходимости более значительных изменений зазора величину его обычно подбирают методом последовательных приближений.

Регулировку зазоров производят при помощи стальных прокладок, которые устанавливают для этих целей между остовом и добавочным полюсом при сборке новых машин. Если, например, требуется ослабить полюс, то нужное количество стальных прокладок выбрасывают, если требуется усилить — добавляют. Если необходимо осуществить ослабление полюсов без изменения первого зазора за счет второго, вместо выброшенной стальной прокладки устанавливают диамагнитную (латунь, дюраль и т. п.), при усилении — наоборот.

Опыт настройки коммутации тяговых машин для новых электровозов показывает, что для тяговых электродвигателей и приводов вспомогательных агрегатов, работающих от контактной сети, коммутацию надо настраивать так, чтобы средняя линия безыскровой зоны была на 1—2% ниже по отношению к оси абсцисс, т. е. чтобы имела место небольшая перекоммутация. Это способствует улучшению коммутации при переходных режимах, так как при этом уменьшается отставание магнитного потока добавочных полюсов от тока при изменениях последнего. Практика эксплуатации тяговых двигателей типа НБ-406, мотор-вентилятора НБ-430 и других машин это положение хорошо подтверждает.

Опыт испытания большого количества тяговых машин показывает, что существующая шкала для оценки искрения по ГОСТ 183—55 является весьма несовершенной, так как установление степени искрения необъективно и зависит от субъективных качеств наблюдателя. Отсюда возможны различные мнения и результаты при снятии зоны допустимого в эксплуатации искрения при опыте подпитки. На результаты также может сказываться освещенность помещения, степень усталости зрения и т. п. Для уменьшения ошибок при коммутационных испытаниях наблюдение за искрением под щеткой рекомендуется поручать одному работнику, имеющему наибольший опыт в этом, так как оценка искрения различными лицами вносит погрешности в результаты измерений. Однако это также полностью не гарантирует высокой точности результатов эксперимента.

Для устранения всех этих недостатков на Новочеркасском электровозостроительном заводе в последние годы в содружестве с Томским электромеханическим институтом инженеров железнодорожного транспорта (ТЭМИИТ) внедрен метод объективной оценки искрения под щетками. При этом в качестве прибора для оценки класса коммутации использован индикатор искрения ИИ-1, разработанный Томским филиалом Научно-исследовательского института электротехнической промышленности.

Сущность метода заключается в том, что фотодатчик воспринимает световую энергию искрения и передает ее в двухкаскадный усилитель, из которого импульсы фототока поступают как в электронно-лучевую трубку катодного осциллографа, так и в прибор стрелочного типа (микроамперметр), показания стрелки которого достаточно устойчивы и могут отсчитываться визуально или записываться на пленку. Принципиальная схема прибора ИИ-1 представлена на рис. 63, а его внешний вид — на рис. 64.

Датчик индикатора искрения состоит из сурьмяно-цезиевого фотоэлектронного умножителя ФЭУ-2 и катодного повторителя (лампа $Л_2$). Он воспринимает лучистую энергию видимой части спектра, выделяющуюся при искрении, и преобразует ее в соответствующий электрический сигнал. Конструктивно датчик выполнен в виде отдельной приставки, устанавливаемой на штативе непосред-

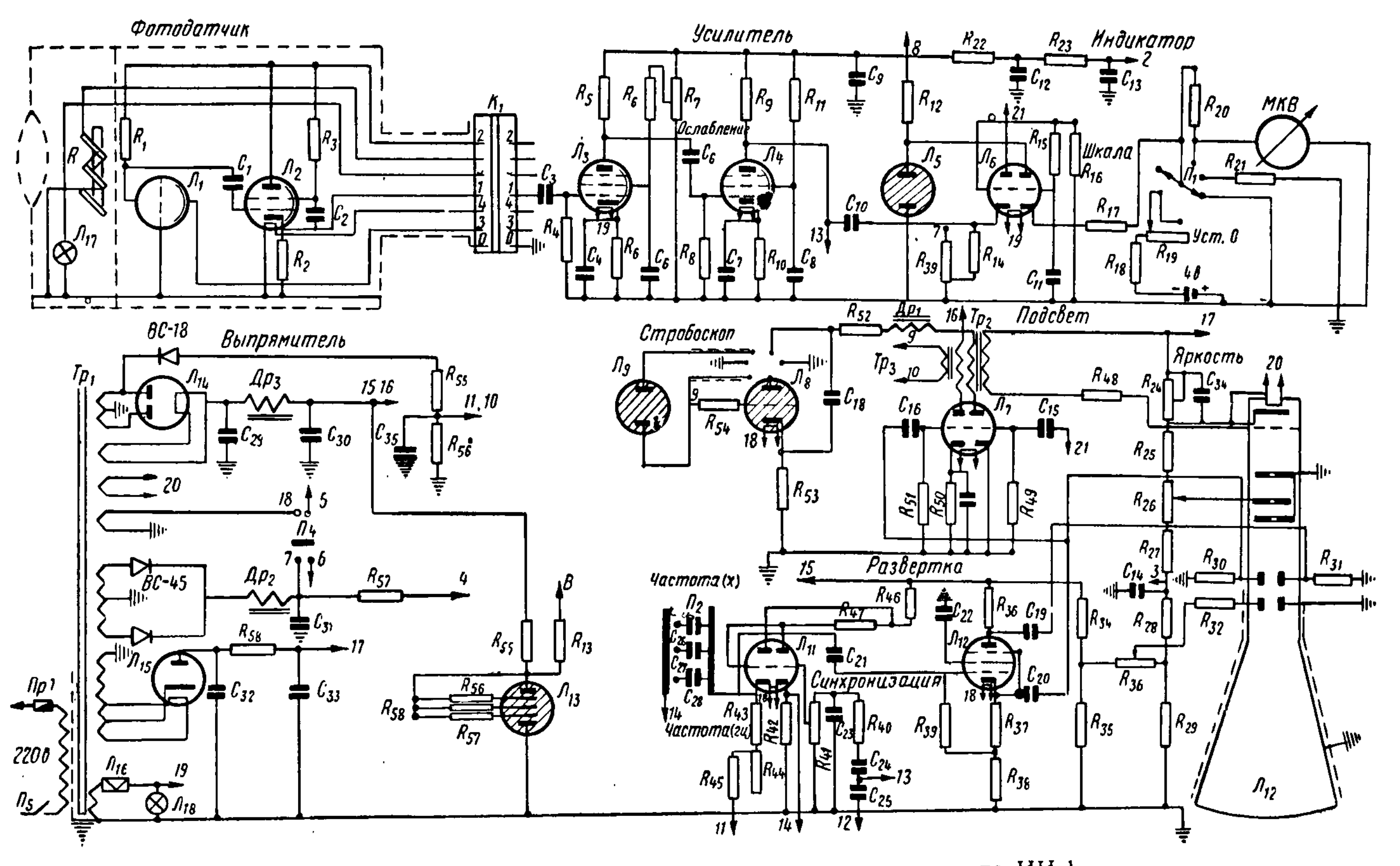


Рис. 63. Принципиальная схема индикатора искрения типа ИИ-1

ственно над исследуемой машиной, и допускает точную наводку на очаг искрения.

Усилитель увеличивает сигналы фотодатчика до уровня, позволяющего измерять их и наблюдать на экране осциллографа. Электронный осциллограф позволяет наблюдать картину распределения интенсивности искрения по окружности коллектора и измерять в люменах его пиковые значения на тех или иных участках. Развертка осциллографа перекрывает диапазон частот $10 \div 10^4$ *гц*, частотная полоса пропускания усилителя имеет границы $10 \div$ $\div 0,5 \cdot 10^5$ *гц*.

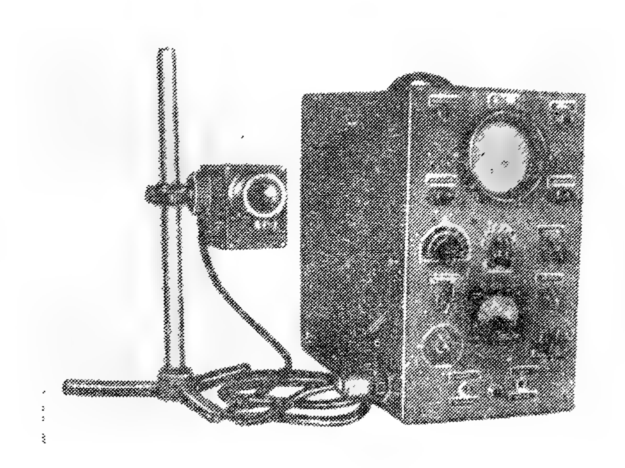


Рис. 61. Внешний вид прибора ИИ-1

Ламповый вольтметр (лампа $Л_6$) измеряет среднее значение на выходе усилителя и проградуирован в среднем значении интенсивности светового потока в люменах. Большая постоянная времени и отсечки шумов (левый триод лампы $Л_6$) обеспечивает устойчивые показания стрелочного прибора при нестабильности искрения и устойчивость нулевого положения стрелочного индикатора.

В приборе предусмотрен подсвет луча, обеспечивающий достаточную яркость импульсов на экране, а также имеется возможность при помощи электронного стробоскопа фиксировать положение коллектора в момент, соответствующий началу наблюдаемой на экране картины искрения (лампы $Л_8$ и $Л_9$).

Указанная выше частотная характеристика прибора принята из условий времени горения дуги, возникающей между щеткой и коллектором при завершении коммутации. Пороговая чувствительность прибора (ограниченная шумами входа) составляет величину порядка $5 \cdot 10^{-8}$ *лм* по экрану, что достаточно для практических целей. Градуировка индикатора проведена по эталонному источнику света с цветовой температурой $T_{цв} = 2850°$, световой поток которого модулировался вращающимся диском с прорезями.

Работа с прибором проста и сводится к тому, что фотоэлектрический датчик, реагирующий на интенсивность искрения, заменяет глаз наблюдателя. При этом датчик необходимо устанавливать на определенном расстоянии от очага искрения, которое для каждого типа машин устанавливается опытным путем, исходя из того, что освещенность фотоэлемента меняется обратно пропорционально квадрату расстояния от места искрения до линзы датчика. Для наблюдения искрения тяговых двигателей наиболее оптимальным, как показывают эксперименты, является расстояние 78 *см*.

Критерием степени искрения при использовании прибора ИИ-1 является линейная

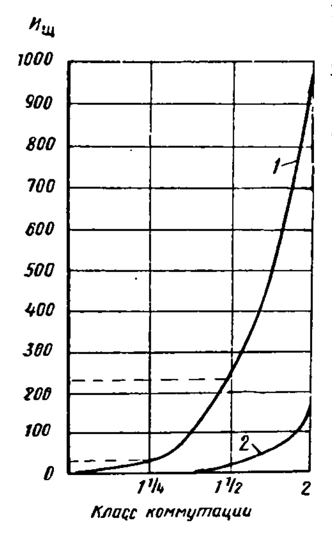


Рис. 65. Показания индикатора искрения ИИ-1 в зависимости от степени искрения по ГОСТ 183—55

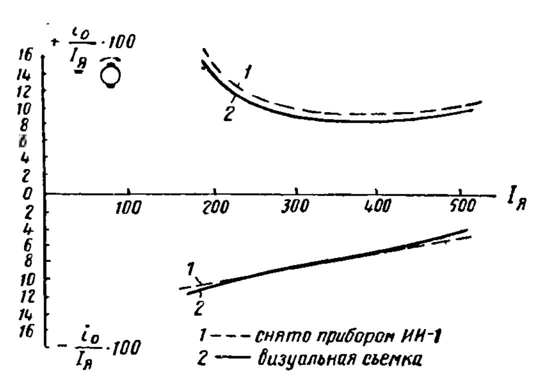


Рис. 66. Зона допустимого в эксплуатации искрения тягового двигателя ДПЭ-400 электровоза ВЛ22, снятая при помощи прибора ИИ-1 и визуальным методом

плотность искрения на единицу длины щетки, вычисляемая по формуле

$$U_щ = \frac{I_ф s^2}{l_щ s_р^2} \ ед/см, \qquad (53)$$

где $I_ф$ — величина фототока, отсчитываемая по индикатору;

s — действительное расстояние от линзы датчика до очага искрения;

$s_р$ — расчетное расстояние (78 *см*);

$l_щ$ — длина всех одновременно наблюдаемых искрящих щеток.

Структура этой формулы тождественна выражению так называемого фактора искрения, предложенного А. Б. Иоффе [6], что является вполне закономерным, так как в обоих случаях в основу оценки коммутации положена линейная плотность энергии искрения.

Шкала прибора индикатора искрения отградуирована в единицах светового потока и поэтому его показания объективно отражают видимую интенсивность искрения щеток. Сопоставление шкалы индикатора с принятыми классами коммутации по ГОСТ 183—55

показывает, что при оценке коммутации можно пользоваться табл. 33 или кривыми рис. 65, которые построены опытным путем. Причем для большей объективности визуальная оценка коммутации производилась несколькими наблюдателями, брались из большого количества замеров средние значения.

Таблица 33

Класс коммутации по ГОСТ 183—55	Среднее значение критерия искрения $U_щ$ ед/см
1	0
$1^1/_4$	25
$1^1/_2$	230
2	1 000

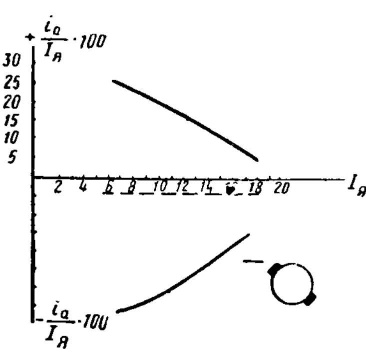


Рис. 67. Зона допустимого искрения двигателя типа НБ-433 электровоза ВЛ23

Построение кривых подпитки добавочных полюсов с помощью фотоэлектрического индикатора ИИ-1 показывает, что при этом можно обеспечить хорошую точность, так как разброс точек получается совсем незначительным, а сами кривые — плавными. На рис. 66 приведены такие кривые для двигателя ДПЭ-400, снятые при помощи прибора и методом визуальной оценки, а на рис. 67 — для двигателя вентилятора типа НБ-433, снятые только при помощи индикатора.

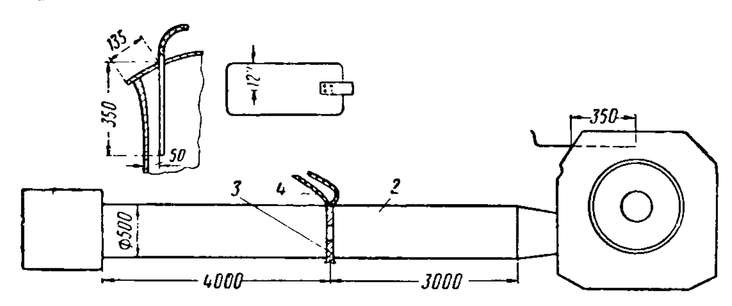


Рис. 68. Схема установки для вентиляционных испытаний машин с независимой вентиляцией

Применение объективного метода для оценки коммутации машин намного облегчает дальнейшие исследования вопросов коммутации и влияния на искрение щеток различных факторов.

Испытания вентиляционной системы. Эффективность вентиляции имеет большое значение при оценке мощности электрических машин. Однако расчет характеристик вентиляционной системы вследствие сложности аэродинамических процессов не гарантирует высокой точности и требует обязательной проверки опытным путем. В результате этого при типовых испытаниях уточняются параметры

системы вентиляции и устанавливается зависимость количества воздуха, прогоняемого через машину, от величины статического напора.

Для проведения испытаний монтируется специальная установка (рис. 68), которая состоит из вентилятора *1* с приводом, скорость которого можно регулировать, и воздухопровода *2* с дроссельным прибором *3*. Дросселем обычно служит нормальная диафрагма, представляющая собой диск с отверстием круглого сечения, центр которого находится на оси трубы. Количество воздуха, протекающего в трубопроводе, определяется по разности давлений, измеренных до и после дросселя, т. е. по перепаду давления (рис. 69).

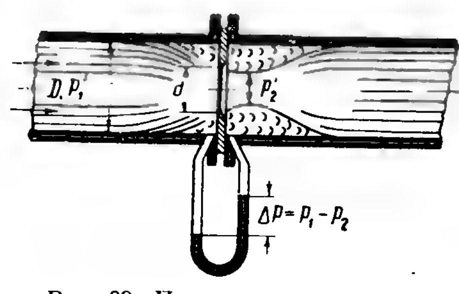


Рис. 69. Перепад давления на дроссельном приборе

Перепад давления, возникающий в дросселе при движении ламинарного потока воздуха, определяется при помощи микроманометров, присоединяемых к выводным штуцерам, впаянным в трубу по одну и другую сторону дросселя так, чтобы впаянный конец внутри трубы был на одном уровне с ее стенкой. Наиболее простым является применение U-образных водяных микроманометров, точность измерений которых $\pm 0{,}5$ *мм вод. ст* при диаметре стеклянной трубки 3—4 *мм*.

Расчет количества воздуха, продуваемого через трубу, производится по формуле

$$G = 0{,}01252\, \alpha \varepsilon K_t\, d^2 \sqrt{H\gamma}\ \text{кг/ч}, \qquad (54)$$

или

$$Q = \frac{G}{\gamma 60}\ \text{м}^3/\text{мин}, \qquad (55)$$

где G — весовой расход воздуха в *ч*;

Q — объемный расход воздуха в *мин*;

α — коэффициент расхода (берется по табл. 34) в зависимости от соотношения диаметров нормальной диафрагмы и трубопровода;

ε — поправочный коэффициент на расширение протекающего воздуха в зависимости от температуры, барометрического давления и отношения $\frac{d}{D}$. Определяется согласно рис. 70;

d — диаметр калиброванного отверстия нормальной диафрагмы, измеренный при температуте 20° С, в *мм*;

D — диаметр трубы в *мм*;

H — перепад статического давления на дросселе, измеренный микроманометром в *мм вод. ст*;

γ — удельный вес воздуха, определяемый по формуле

$$\gamma = \frac{0{,}463 P_в}{273 t_в}\ кг/м^3, \qquad (56)$$

где $P_в$ — барометрическое давление воздуха;

$t_в$ — температура окружающего воздуха в °С;

K_t — поправочный множитель, равный $1 + 2\beta(t_1 - 20)$ и учитывающий тепловое расширение дроссельного прибора;

β — коэффициент линейного расширения материала дроссельного прибора (для стали $\beta = 1{,}2 \cdot 10^{-5}$);

t_1 — температура дроссельного прибора, условно принимаемая равной температуре воздуха перед диафрагмой.

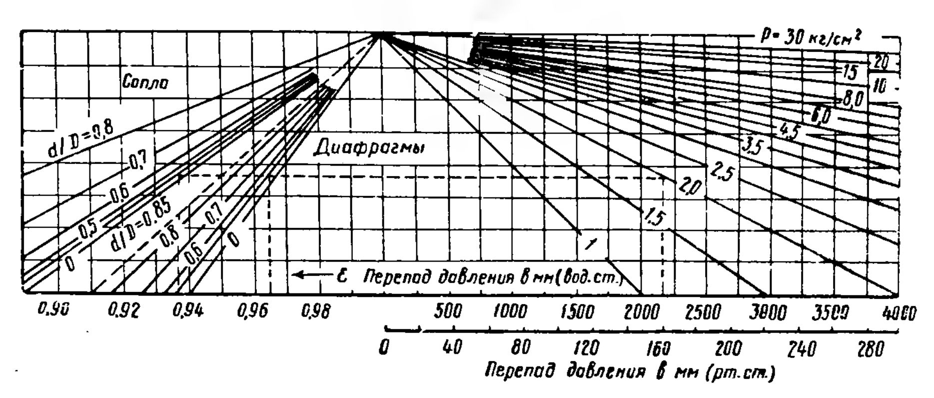


Рис. 70. Поправочный коэффициент ε на расширение протекающего воздуха при малых перепадах давления

Таблица 34

d/D	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
α	0,598	0,599	0,601	0,605	0,609	0,616	0,624

Продолжение

d/D	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,88
α	0,635	0,649	0,668	0,692	0,723	0,764	0,822

Для измерения расхода воздуха при независимой вентиляции испытуемая машина ставится у выходного конца воздухопровода вентиляционной установки (см. рис. 68) так, чтобы входной люк для воздуха машины и выходное отверстие трубы были плотно соединены. При этом допускается применение переходных патрубков произвольной формы. Микроманометры с помощью резиновых шлангов соединяются со штуцерами и пускается вентилятор, изменяя скорость вращения которого можно регулировать подачу количе-

ства воздуха в трубу, а следовательно, и в испытуемую машину. Измеряя статические давления воздуха до и после дросселя и находя разницу между ними при различных скоростях вращения вентилятора, определяют вес и расход воздуха по формулам (54) и (55) и одновременно измеряют температуру, барометрическое давление и вычисляют удельный вес воздуха.

Для установления зависимости расхода воздуха от статического напора в коллекторной камере применяется U-образный водяной микроманометр, который при помощи резинового шланга соединен с металлической трубкой диаметром 5—6 *мм*, имеющей запаянный конец и отверстия диаметром 1 *мм*, просверленные вдоль трубки по винтовой линии. Трубка запаянным концом помещается в коллекторную камеру на определенную глубину и в определенном месте, и замер статического напора производится в такой точке, где величина его не зависит от формы подводящего воздухопровода. Данная точка для каждого типа машин находится опытным путем и расположена всегда ближе к стенке остова, наиболее удаленной от вентиляционного входного люка.

Если, пустив вентилятор, продувать через воздухопровод и испытуемую машину воздух, количество которого определяется при помощи дроссельного прибора, и одновременно измерять статический напор в коллекторной камере, то можно таким образом установить зависимость расхода воздуха от статического напора.

Для получения объективных данных зависимость расхода воздуха от статического напора $Q = f(H_{ст})$ снимается для нескольких машин одного типа и строится как средняя.

Снятие указанной зависимости от тяговых двигателей производится с кожухом зубчатой передачи и без него. При этом если будет установлено, что кожух повышает аэродинамическое сопротивление вентиляционной системы, то тепловые испытания машины необходимо проводить с макетом кожуха зубчатой передачи. Обычно, как показывает опыт, при удалении кожуха от выходных вентиляционных отверстий в щитах машины на 80—100 *мм* его влияние на аэродинамические характеристики практически не сказывается. На рис. 71 представлена зависимость $Q = f(H_{ст})$ для тяговых двигателей НБ-406, устанавливаемых на электровозах ВЛ23 и Н8.

Испытания вентиляционной системы самовентилируемых машин проводятся также при помощи установки с дроссельным прибором (см. рис. 68), однако испытуемая машина с выходным концом воздухопровода соединяется не непосредственно, а через герметически закрытую камеру, объем которой составляет примерно 0,5 расчетного количества воздуха, прогоняемого через машину в 1 *мин*. В камере перед входным отверстием, к которому подсоединяется воздухопровод, устанавливается экран для уменьшения скорости поступающего воздуха и избежания создания направленного потока воздуха внутри камеры. Испытуемая машина соединяется с камерой таким образом, чтобы при вращении ее вентилятора воздух засасывался только из камеры и выбрасывался из машины вне камеры.

Схема такой вентиляционной установки, на которой проводятся испытания, показана на рис. 72.

Метод определения количества воздуха, забираемого машиной, основан на измерении давления внутри камеры, которое изменяется по следующей зависимости.

Если количество воздуха, подаваемого в камеру через воздухопровод, будет меньше забираемого машиной, то в камере будет создаваться разрежение, а если равно, то давление не будет изменяться. Давление в камере контролируется U-образным водяным манометром, один конец которого соединяется с внутренним пространством камеры, а другой — с атмосферой.

Отсюда следует, что если подачу воздуха от вспомогательного вентилятора отрегулировать так, что показание манометра при

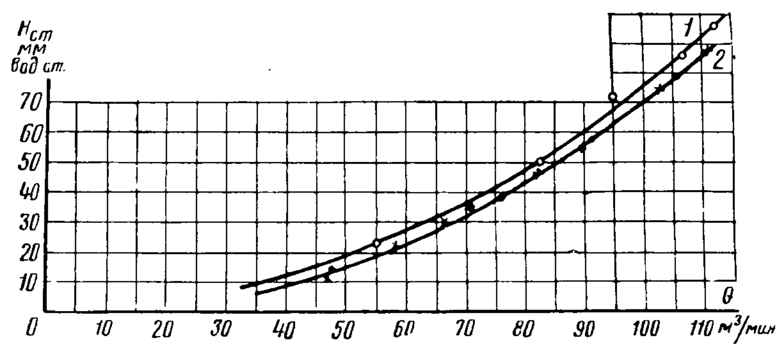


Рис. 71. Зависимость статического напора в коллекторной камере тягового двигателя НБ-406 от количества вентилирующего воздуха:

1—при наличии кожухов зубчатой передачи и снегозащиты;
2—при отсутствии кожухов зубчатой передачи и снегозащиты

работающей испытуемой машине будет равно нулю, то количество воздуха, забираемого из камеры вентилятором этой машины, будет равно количеству воздуха, нагнетаемого в камеру, которое определяется с помощью дроссельного прибора вышеописанным способом.

Используя эту методику при испытании самовентилируемых машин, устанавливают зависимость расхода проходящего через двигатель воздуха от скорости вращения якоря машины.

Тепловые испытания. Испытания этого рода производятся с целью проверки расчетной мощности машин по нагреванию, правильности работы подшипниковых узлов, выбора вентиляции и нагревания отдельных элементов машины при различных видах и величинах нагрузки. Способы нагрузки испытуемых машин и методы определения перегревов при этом применяются такие же, как и при контрольных испытаниях на нагревание, что изложено в § 23. Рассмотрим дополнительно отдельные особенности тепловых испытаний применительно к программе типовых.

При типовых испытаниях прежде всего определяют ток, соответствующий максимально допустимому превышению температуры частей обмотки над температурой окружающей среды при номи-

нальном режиме и являющийся током нагрузки при контрольных испытаниях на нагревание. Определение этого тока производят методом постепенного приближения: первоначально испытывают машины при расчетном токе, если такой определен, и при нормальной вентиляции, затем в случае несоответствия перегрева обмоток установленным нормам (см. табл. 30) испытания повторяют до получения необходимых результатов. Перед началом повторных испытаний машина должна находиться в практически холодном состоянии. Для ускорения подбора необходимой величины тока его корректировку необходимо производить исходя из положения, что перегрев обмоток пропорционален квадрату тока нагрузки.

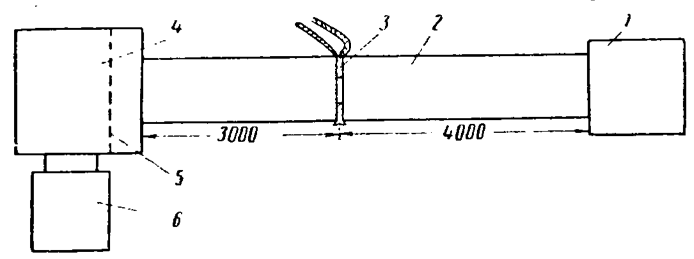


Рис. 72. Схема установки для определения расхода воздуха самовентилируемых машин:
1 — вентилятор; 2 — труба; 3 — дроссель; 4 — камера; 5 — экран; 6 — испытуемая машина

После установления кратковременного тока определяют длительный ток нагрузки, при котором перегрев всех частей машины после работы в течение продолжительного времени соответствует нормам. Испытание на нагревание длительным током состоит в том, что машина, нагруженная вышеуказанными способами, работает при номинальном напряжении и скорости, соответствующей данной нагрузке по рабочим характеристикам, до тех пор, пока не установится температура всех ее частей. Согласно нормам температура какой-либо части машины считается практически установившейся, если изменение ее в течение 1 *ч* не превышает 1°С при условии, что нагрузка машины и температура охлаждающей среды при этом остаются неизменными.

Для сокращения времени на испытания допускается в начале режима машину предварительно подогреть повышенным током и затем переходить на необходимый режим нагрузки. Если по окончании длительного режима потребуется повторение его при другом токе (меньшем или большем), то целесообразно эти испытания вести одно за другим, не давая машине сильно остывать, что значительно экономит время. В процессе испытаний через каждые 10—15 *мин* описанными выше способами производят измерения перегрева всех частей машины, температуры окружающей среды и охлаждающего воздуха и контролируют его расход. При этом необходимо отметить, что если при контрольных испытаниях температура якоря измерялась только по окончании режима, то при длительном режиме

допускается такие замеры производить в процессе испытаний через определенные промежутки времени (обычно не реже чем через 45—60 *мин*). Для этого быстро останавливают машину во избежание значительного охлаждения коллектора и обмоток и производится замер сопротивления обмотки якоря известным способом.

Для быстрой остановки отключают линейный генератор, выключают независимую вентиляцию и усиливают ток вольтодобавочной машины, действующей в этот момент, как электрический тормоз. Остановка машины и замер сопротивления не должны занимать более 45—60 *сек*.

Для ускорения измерения падения напряжения на обмотке якоря можно вместо щупов применять измерительные графитовые щеточки диаметром 4—5 *мм*, которые встраивают в две основные щетки, расположенные друг от друга на расстоянии полюсного деления по коллектору, и подключают к измерительному прибору в момент остановки якоря. Измерительные щетки должны быть изолированы от основных для большей точности замеров и во избежание порчи прибора при вращении якоря обязательно отключены от него рубильником. После окончания измерений машины пускают в ход принятым способом, восстанавливают прежнюю нагрузку, включают вентиляцию и испытание продолжается.

Когда температура всех обмоток машины достигнет установившейся, производят все измерения, которые имеют место по окончании режима при испытании на нагревание по программе контрольных испытаний, и измеряют температуру коллектора термометром по способу измерения температуры обмоток в холодном состоянии. Перегрев обмоток рассчитывают по формуле (35а), в которую подставляют среднее значение температуры охлаждающего воздуха (окружающей среды) за последний час длительного режима.

Если длительным режимом работы машины является повторно-кратковременный, то испытания ведут аналогичным образом с той лишь разницей, что в конце каждого периода нагрузки производят измерения температуры всех частей машины, после чего нагрузку снижают до нуля на время паузы в соответствии с заданным промежутком времени. На время снятия нагрузки возбуждение машины в зависимости от условий может оставаться включенным. По окончании паузы замеры температуры всех частей повторяют и машину снова нагружают на время ее рабочего периода и т. д.

Продолжительность одного рабочего цикла (период работы и пауза) согласно нормам принимается равным 10 *мин*, если нет особых оговорок в технических условиях.

Испытания в таком режиме работы продолжают до тех пор, пока температура частей машины не станет практически повторяющейся, т. е. изменения температуры этих частей от одного периода к другому будут меньше 1° С в течение 1 *ч* при условии, что нагрузка машины во время рабочих циклов, а также продолжительность включения и температура охлаждающей среды остаются неизменными.

Для сокращения времени испытания допускается первоначаль-

ная перегрузка машины для ее подогрева. Наиболее просто это достигается путем включения испытуемой машины в начале испытаний на режим без пауз.

При тепловых испытаниях тяговых двигателей, предназначенных для магистральных электровозов, для одного из электродвигателей каждого типа снимается сетка кривых нагревания и охлаждения, представляющая собой зависимость перегрева обмоток машины от времени при различных значениях тока нагрузки и количества охлаждающего воздуха. Указанные кривые используют при определении тепловых параметров двигателей и снимают для 8—10 значений тока нагрузки в диапазоне от 40 до 160% от номинального при номинальном напряжении и расходе воздуха 100, 75 и 0% от номинального.

Испытания при этом проводят таким же образом, как и при длительном режиме, с той только разницей, что нагрев начинается с практически холодного состояния и продолжается до установившейся температуры без изменения режима нагрузки и охлаждения; охлаждение от максимально допустимой температуры до практически холодного состояния в случае отсутствия нагрузки и до установившейся при наличии нагрузки. Замер температуры обмоток производится через каждые 30 *мин* методом сопротивления. Скорость вращения машин при испытаниях поддерживается постоянной и соответствует току нагрузки согласно рабочим характеристикам. Если кривая остывания снимается без тока, то скорость вращения равна нулю. При снятии кривых нагрева, соответствующих току нагрузки больше часового, замеры температуры (сопротивления) производят дважды: перед началом режима, когда машина в холодном состоянии, и в конце режима. Остановки машины в процессе режима не допускаются.

Результаты испытаний для каждой обмотки (якоря, главных и добавочных полюсов) оформляют в виде кривых $\tau = f(t)$ при I, U, n, $Q = \text{const}$. На рис. 73 приведены такие кривые для якоря двигателя НБ-406А.

Проверка работы машин при питании от выпрямленного напряжения. На железных дорогах с каждым годом увеличивается количество электровозов однофазного переменного тока с выпрямительными устройствами, и также ведутся работы по созданию и внедрению моторвагонных секций аналогичной системы. В качестве тяговых двигателей на электроподвижном составе с выпрямительным агрегатами применяются машины постоянного тока, которые питаются выпрямленным напряжением и током нагрузки, являющимися не постоянными в практическом понимании этих терминов, а пульсирующими. Например, на электровозах типов НО и Н60 величина пульсации тока в номинальном режиме достигает 30% по отношению к среднему значению, а при меньшей нагрузке возрастает еще больше. Частота пульсации первой гармоники при этом составляет 100 *гц*.

Так как пульсация тока в машинах последовательного возбуждения вызывает повышение перегрева обмоток, ухудшение коммутации и снижение к. п. д., то при оценке пригодности машин для эксплуатации наряду с испытаниями по ГОСТ 183—55 и 2582—50 необходимы также испытания при питании пульсирующим напряжением. К испытанию на пульсирующем напряжении допускаются только те машины, которые удовлетворяют нормам, как машины постоянного тока. Обычно проверяется нагрев частей машины в номинальных, кратковременном и длительном режимах, а также качество коммутации при максимальной скорости вращения, повышенном напряжении и минимальном токе нагрузки и при перегрузке и номинальном напряжении.

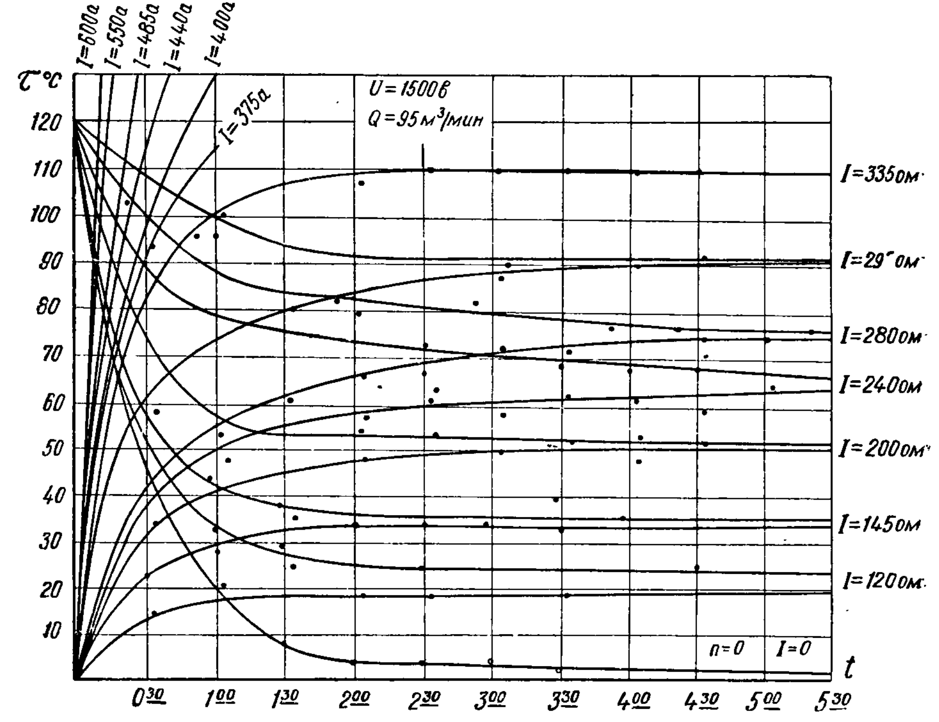


Рис. 73. Сетка кривых нагрева и остывания якоря двигателя НБ-406А

Испытания машин при пульсирующем напряжении производятся как по схеме взаимной нагрузки, так и с нагрузочным генератором. Тяговые двигатели, как правило, испытываются по схемам взаимной нагрузки с наложением переменной составляющей напряжения на постоянную по схеме рис. 74 или с использованием выпрямительной установки по схеме рис. 75.

В схеме рис. 74 источники постоянного тока и переменного тока 100 *гц* включены последовательно, что позволяет получить пульсирующее напряжение на испытуемом двигателе.

Источником постоянного тока служит вольтодобавочный генератор, источником переменного тока с частотой 100 *гц* может служить асинхронный двигатель с фазным ротором, подсоединенным к сети переменного тока через потенциал-регулятор. При вращении ротора посторонним приводом с синхронной скоростью в направлении вращения магнитного поля в статорной обмотке наводится э. д. с. с частотой 100 *гц*, которую можно плавно регулировать по величине потенциал-регулятором. Если эту переменную э. д. с. наложить на постоянную составляющую, получаемую от машины постоянного тока, работающей в качестве вольтодобавочного генератора *ВДГ*, то их суммарное значение дает пульсирующую э. д. с. Изменяя значения переменной и постоянной составляющих э. д. с., получают различные коэффициенты пульсации тока, а изменяя скорость вращения ротора асинхронной машины, изменяют и частоту пульсаций.

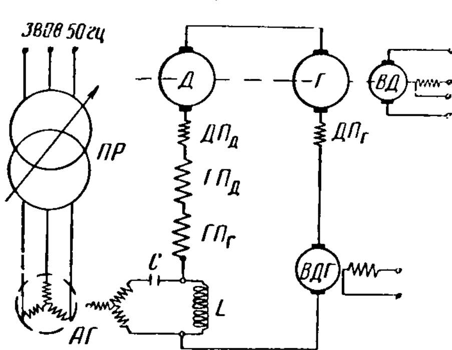


Рис. 74. Схема испытания машин при питании пульсирующим напряжением, получаемым методом наложения переменной составляющей на постоянную:

Д — испытуемый двигатель; *Г* — генератор, которым служит второй аналогичный двигатель; *ВДГ* — вольтодобавочный генератор; *ВД* — вспомогательный двигатель; *АГ* — синхронный генератор 100 *гц*; *ПР*—потенциал-регулятор; *L*—индуктивность; *С* — емкость

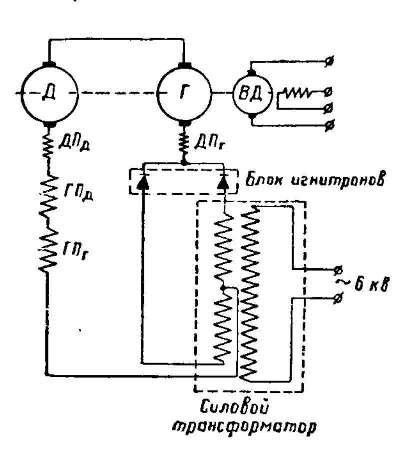


Рис. 75. Схема испытания тяговых двигателей при питании от выпрямительной установки

В случае испытания двигателей по схеме рис. 75 применяется выпрямительная установка с двухполупериодным выпрямлением однофазного тока по схеме с нулевым выводом, что позволяет получить необходимое пульсирующее напряжение и ток. Эта же выпрямительная установка используется для питания испытуемой машины и при испытании по схеме с нагрузочным генератором.

Методы испытания машин при этом такие же, как и при питании постоянным током и не требуют особых пояснений.

§ 25. Испытания машин переменного тока

Как уже отмечалось, на новых электровозах переменного тока в качестве привода вспомогательных машин находят применение асинхронные машины, испытание которых производят по программе,

изложенной в § 22. Способы испытания машин переменного тока несколько отличны от рассмотренных выше для постоянного тока, но особой сложности не представляют; проводятся испытания в нижеследующей последовательности.

Внешний осмотр и измерение сопротивлений в холодном состоянии. На испытательную станцию машины подаются в собранном в соответствии с чертежами виде и исправном состоянии. При внешнем осмотре проверяют правильность соединения выводов статорной обмотки, маркировку проводов и проворачиваемость ротора от руки. Маркировка проводов должна быть в соответствии со схемой соединения, а ротор легко проворачиваться и не цепляться за статор.

Измерение сопротивления обмоток статора в практически холодном состоянии производят постоянным током описанным методом вольтметра-амперметра или измерительными мостами. Температура в момент замера не должна отличаться от окружающей более чем на ±3°C, и измерение ее производится при помощи термометра, помещаемого в гнездо рымболта, для чего последний вывинчивают.

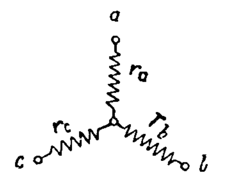


Рис. 76. Схема соединения обмотки статора в звезду

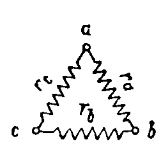


Рис. 77. Схема соединения обмотки статора в треугольник

При измерении сопротивления обмотки фаз, соединенных в звезду (рис. 76), в результате получается сумма сопротивлений двух фаз, так как наружу выведены только начальные концы всех фаз. Пусть r_{ab}, r_{bc} и r_{ca} — суммарные сопротивления фаз ab, bc и ca соответственно равные:

$$\begin{aligned} r_{ab} &= r_a + r_b; \\ r_{bc} &= r_b + r_c; \\ r_{ca} &= r_c + r_a. \end{aligned} \qquad (57)$$

Тогда решение этой системы уравнений относительно неизвестных r_a, r_b и r_c дает:

$$\begin{aligned} r_a &= \frac{r_{ca} + r_{ab} - r_{bc}}{2}; \\ r_b &= \frac{r_{ab} + r_{bc} - r_{ca}}{2}; \\ r_c &= \frac{r_{bc} + r_{ca} - r_{ab}}{2}. \end{aligned} \qquad (58)$$

При соединении фаз в треугольник (рис. 77) между каждыми двумя выводами при измерении сопротивления оказываются включенными параллельно две ветви, одна из которых представляет одну фазу, а другая две фазы, последовательно соединенные. Тогда сопротивления, измеренные между двумя выводами машины, будут равны:

$$\left.\begin{aligned} r_{ab} &= \frac{1}{r_a + \dfrac{1}{r_b + r_c}} = \frac{r_a(r_b + r_c)}{r_a + r_b + r_c}; \\ r_{bc} &= \frac{r_b(r_c + r_a)}{r_a + r_b + r_c}; \\ r_{ca} &= \frac{r_c(r_a + r_b)}{r_a + r_b + r_c}. \end{aligned}\right\} \qquad (59)$$

Решение этой системы дает сопротивление каждой фазы:

$$\left.\begin{aligned} r_a &= \frac{1}{2}\left[\frac{4r_{bc}\, r_{ca}}{r_{bc} + r_{ca} - r_{ab}} - (r_{bc} + r_{ca} - r_{ab})\right]; \\ r_b &= \frac{1}{2}\left[\frac{4r_{ca}\, r_{ab}}{r_{ca} + r_{ab} - r_{bc}} - (r_{ca} + r_{ab} - r_{bc})\right]; \\ r_c &= \frac{1}{2}\left[\frac{4r_{ab} + r_{bc}}{r_{ab} + r_{bc} - r_{ca}} - (r_{ab} + r_{bc} - r_{ca})\right]. \end{aligned}\right\} \qquad (60)$$

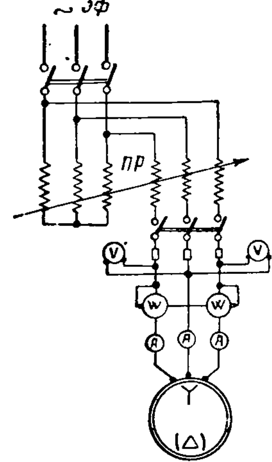


Рис. 78. Схема включения асинхронного двигателя для испытаний в режиме холостого хода короткого замыкания и снятия рабочих характеристик

Измеренные сопротивления фаз не должны отличаться от расчетных в обмоточных записках более чем на ±3%.

Определение тока и потерь холостого хода. Опыт холостого хода производится в режиме двигателя при питании от источника регулируемого напряжения номинальной частоты. Снятие характеристик холостого хода осуществляется постепенным понижением приложенного напряжения, начиная от наибольшего, не превышающего 130% номинального, и кончая наиболее низким, которое определяется заметным возрастанием скольжения. При этом в роторе ток начинает сильно возрастать, что вызывает увеличение тока статора, который до этого уменьшался по мере снижения питающего напряжения, что в дальнейшем уже не может дать достоверных результатов при построении кривой холостого хода.

Для испытания в режиме холостого хода собирается электрическая схема рис. 78 и производится запуск двигателя включением в сеть через потенциал-регулятор, с помощью которого изменяется напряжение на зажимах двигателя. В процессе опыта определяют

напряжение, ток и мощность по методу двух ваттметров, результаты записывают в таблицу и по формулам вычисляют следующие величины.

Среднее значение линейного тока холостого хода I_0 определяется как среднее арифметическое из измеренных значений, т. е.

$$I_0 = \frac{I_0' + I_0''}{2}, \quad (61)$$

где I_0' и I_0'' — показания амперметров.

Мощность холостого хода P_{xx} определяется как алгебраическая сумма показаний ваттметров, включенных в две фазы,

$$P_{xx} = P_0' + P_0''. \quad (62)$$

Так как при холостом ходе $\cos\varphi_0$ низок и лежит в пределах 0,1—0,3, то показания одного из ваттметров оказываются отрицательными. Поэтому при снятии его показаний каждый раз надо отмечать знак этих показаний.

Коэффициент мощности вычисляется по формуле

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}U_0 I_0}. \quad (63)$$

Потери холостого хода P_0, представляющие сумму потерь в стали $P_{ст}$ и механических $P_м$, получают вычитанием из подведенной мощности холостого хода P_{xx}, электрических потерь в статоре от тока холостого хода I_0, равных при включении фаз в звезду $P_{мо} = 3I_0^2 r_0$, и при включении в треугольник $P_{мо} = I_0^2 r_0$, где r_0 — сопротивление одной фазы при температуре окружающей среды во время эксперимента.

Намагничивающая составляющая тока холостого хода, под которой понимается чисто реактивная ее часть, определяется, как

$$I_r = I_0 \sin\varphi_0, \quad (64)$$

где

$$\sin\varphi_0 = \sqrt{1 - \cos^2\varphi_0}.$$

Результаты опыта холостого хода строятся в виде графика зависимости I_0, P_0 и $\cos\varphi_0$ от величины напряжения, которая называется характеристикой холостого хода. При контрольных (поверочных) испытаниях эта характеристика не снимается и опыт ограничивается только измерением тока и потерь при номинальном напряжении.

Измерение тока и потерь короткого замыкания. Опыт короткого замыкания производят при заторможенном роторе и питании двигателя от сети пониженным напряжением. Схема соединений при этом имеет тот же вид, как и для опыта холостого хода (см. рис. 78), но амперметры и ваттметры в цепи статора должны быть взяты соответственно наибольшей величине измеряемого тока. Трудность

опыта короткого замыкания при подведении к зажимам двигателя полного напряжения заключается в том, что при этом от источника проходит ток, превосходящий в несколько раз номинальный, что требует источника большой мощности, и очень быстро повышается температура обмоток. Последнее подвергает опасности изоляцию обмоток и не позволяет провести точно отсчеты показания по приборам. Вследствие этого величину питающего напряжения ограничивают так, чтобы максимальный ток не был более 1,5 номинального $I_н$.

Перед началом испытаний измеряют температуру обмоток, двигатель затормаживают и включают на минимальное напряжение. Затем поднимают напряжение при помощи потенциал-регулятора до величины, соответствующей току $0{,}25I_н$, и записывают показания всех приборов (двух ваттметров, двух амперметров и вольтметра). После этого устанавливают последовательно значения напряжения, при котором проходят токи: $0{,}5I_н$; $0{,}75I_н$; $I_н$; $1{,}25I_н$ и $1{,}5I_н$, и соответствующие отсчеты показаний приборов повторяют. При этом каждую точку для характеристики короткого замыкания рекомендуется брать как среднее значение из полученных при разных положениях ротора, который во время опыта поворачивают на небольшой угол. Весь опыт и отсчеты по приборам следует производить быстро, чтобы не вызвать нагрева обмоток, влияющего на точность измерений. Если испытание требует высокой точности, сопротивление необходимо измерять после каждого отсчета и его величину учитывать при последующей обработке материалов. При измерении мощности надо считаться со знаком показания ваттметра, так как $\cos\varphi_к < 0{,}5$.

Результаты измерений записывают в таблицу и на их основании определяют:

действительный линейный ток короткого замыкания, принимаемый как среднее арифметическое по формуле

$$I_к = \frac{I'_к + I''_к}{2}; \qquad (65)$$

действительный фазный ток короткого замыкания ($I_{кф}$) и фазное напряжение ($U_{кф}$) вычисляются как $I_{кф} = I_к$; $U_{кф} = \frac{U_к}{\sqrt{3}}$ — при соединении обмоток статора звездой и как $I_{кф} = \frac{I_к}{\sqrt{3}}$; $U_{кф} = U_к$ — при соединении обмоток статора треугольником;

подведенная мощность $P_к$ принимается как алгебраическая сумма показаний двух ваттметров, а коэффициент мощности как

$$\cos\varphi_к = \frac{P_к}{\sqrt{3}\,U_к I_к}; \qquad (66)$$

потери в обмотке статора $P_{м1}$ определяют по формуле

$P_{м1} = 3I_к^2 r_к$ — при соединении фаз звездой и $P_{м1} = I_к^2 r_к$ — при соединении фаз треугольником, где $r_к$ — сопротивление одной фазы при температуре в момент отсчета;

потери в обмотке ротора $P_{м2}$ получают вычитанием из подведенной мощности $P_к$ потерь в обмотке статора $P_{м1}$ и потерь в стали $P_{ст}$, взятых из опыта холостого хода в соответствии с напряжением. При этом $P_{м2} = P_к - P_{м1} - P_{ст}$;

постоянные короткого замыкания двигателя вычисляются, как:

$$z_к = \frac{U_{кф}}{I_{кф}}; \quad r_к = \frac{P_к}{3I_{кф}^2}; \quad x_к = \sqrt{z_к^2 - r_к^2}, \qquad (67)$$

и приводятся к рабочей температуре обмоток путем пересчета омического сопротивления по известным формулам.

Значения тока и мощности короткого замыкания приводятся к номинальному напряжению по формулам:

$$I_{кф\,н} = \frac{U_{фн}}{z_к'}; \quad P_{кн} = 3I_{кф\,н}^2 r_к', \qquad (68)$$

где $r_к'$ и $z_к'$ — соответствующие сопротивления при рабочей температуре;

$I_{кф\,н}$ и $P_{кн}$ — значения тока и мощности, соответствующие номинальному фазному напряжению.

Результаты испытания и расчетов оформляются в виде зависимости $I_к$; $P_к$; $P_{м2}$ и $\cos\varphi_к$ от величины приложенного напряжения.

Измерение сопротивления и испытания электрической прочности изоляции. Сопротивление изоляции между обмотками и относительно корпуса определяют мегомметром на 500 *в* по способу, описанному в § 23. Величина сопротивления должна быть не меньше значения, определяемого по формуле (36). В частности, для машин мощностью $P \leqslant 100$ *ква* с рабочим напряжением 380 *в*, наиболее распространенных на электроподвижном составе, сопротивление изоляции должно быть не меньше 0,38 *мом*.

Электрическая прочность междувитковой изоляции обмоток измеряется повышенным на 30% напряжением в течение 5 *мин* следующим образом. Для асинхронных короткозамкнутых машин от потенциал-регулятора подводят к статору пониженное напряжение, которое при работе его в режиме холостого хода повышают до 130% от номинального и замечают ток холостого хода. Если при этом за время проверки никаких изменений тока холостого хода не происходит, то изоляция витков считается в норме.

Испытание диэлектрической прочности изоляции относительно корпуса производят напряжением $2U_н + 1\,000$ *в* в течение 1 *мин*. Для этого один полюс источника испытательного напряжения подключают к выводу испытуемой цепи, а другой — к заземленному корпусу машины. Соединенные между собой многофазные обмотки считают за одну цепь, если начало и конец каждой фазы не выведены к специальным зажимам, и испытанию подвергается вся об-

мотка. Если же концы фаз выведены, то каждая фаза испытывается отдельно при подсоединении в это время других к корпусу. Порядок повышения и снятия испытательного напряжения описан в § 23.

Испытание на нагревание. В асинхронном двигателе в отличие от машин постоянного тока предельная мощность определяется только допустимым нагреванием. Нагрузку двигателя при испытании на нагревание осуществляют большей частью при помощи нагрузочного генератора постоянного тока, включенного на реостат, и испытания производят при номинальных напряжении, нагрузке и частоте.

Превышение температуры обмотки статора измеряют по методу сопротивления с экстраполяцией на момент выключения. Целесообразно, наряду с определением температуры обмоток, определять нагрев лобовых частей обмотки статора и зубцов пазов. Для этого обычно применяют термопары. Рекомендуется также установка ряда термопар или жидкостных термометров на корпус (в гнездо рымболта, подшипники и в отверстия для входа и выхода воздуха). Отсчеты по всем измерительным приборам производят через каждые 30 *мин* (или 15 *мин* для мелких машин) в течение всего режима испытания. Измерение сопротивления статорной обмотки производят в момент остановки после достижения установившихся температур всех частей машины.

В двигателях с короткозамкнутым ротором часто сопротивление обмоток статора первоначально после выключения нагрузки повышается. Это происходит вследствие того, что для короткозамкнутого ротора, не имеющего изоляции, допускаются гораздо более высокие температуры, чем для изолированных обмоток статора, и при малой величине воздушного зазора происходит интенсивная передача тепла от ротора к статору. В таких случаях согласно нормам за температуру обмотки принимается наибольшее из измеренных значений. Предельные допустимые превышения температуры частей электрических машин при температуре охлаждающего воздуха +35° С установлены для обмоток с изоляцией класса А — 65° С и с изоляцией класса В — 85° С. Для неизолированных обмоток ротора превышение не должно достигать значений, которые создавали бы опасность повреждения изолирующих или других смежных материалов. Части машины, соприкасающиеся с изолированными обмотками, не должны иметь перегрев выше, чем сама обмотка.

Снятие рабочих характеристик. Рабочими характеристиками асинхронного двигателя называют зависимости потребляемой мощности P_1, тока в статоре I_1, вращающего момента M, скорости вращения ротора n_2, скольжения s, $\cos\varphi$ и к. п. д. η от полезной мощности P_2 при постоянном значении напряжения U, приложенного к статору двигателя, и частоте f_1 сети.

Так же, как и двигатель постоянного тока, асинхронный двигатель нагружают механическим тормозом или тарированным генератором постоянного тока. Схема включения испытуемого двигателя и измерительных приборов приведена на рис. 78. Снятие рабочих

характеристик производят посредством различных нагрузок в пределах от перегрузки сверх номинальной до холостого хода. Перед началом этого вида испытаний двигатель необходимо хорошо прогреть током, составляющим 75—80% от номинального, чтобы температура частей машины установилась. Исходя из необходимости поддержания этой температуры, целесообразно вести испытания, переходя от более высоких температур к низким, начиная с перегрузки по току 50%, при которой проверяется предусмотренная программой кратковременная перегрузка в течение 15 *сек.* Если такую перегрузку невозможно осуществить при номинальном напряжении, допускается на это время понизить подведенное напряжение, но так, чтобы не наступило явление «опрокидывания» двигателя. Во время опыта производят измерение напряжения, линейных токов, мощности и скольжения при разных значениях нагрузки, а результаты наблюдений записывают в журнал для последующих вычислений. Измерение скольжения в короткозамкнутых двигателях производят по методу стробоскопа. Для этого на валу двигателя укрепляется картонный диск, разделенный на ряд белых и черных секторов, число которых берется равным числу полюсов, например, на рис. 79 показан диск для $2p = 6$.

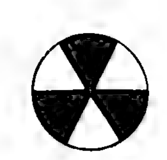


Рис. 79. Диск стробоскопа для шестиполюсной машины

Если освещать такой диск неоновой лампой, вспыхивающей каждый период, то при питании ее от той же сети, что и испытуемый двигатель, и при синхронной скорости вращения ротора диск будет казаться неподвижным. Это происходит потому, что неоновая лампа дает прерывистый свет, потухая и зажигаясь соответственно числу перемен питающей сети и освещая таким образом диск всегда в одном и том же положении. Если ротор двигателя, а следовательно, и укрепленный на нем стробоскопический диск будет вращаться со скольжением, т. е. отставая от поля статора, то за один оборот последнего ротор повернется несколько меньше, чем на полный оборот, и при взгляде на диск будет казаться, что имеющаяся на нем тень вращается в противоположную сторону по отношению к направлению вращения ротора. Очевидно, что за один оборот тени диска ротор отстанет от магнитного поля статора на 360 электрических градусов, что соответствует одному периоду тока ротора. Следовательно, частота изменения тока ротора будет равна

$$f_2 = \frac{n}{t},$$

где n — число оборотов диска за время t в *сек.* Таким образом, скольжение ротора будет равно

$$s = \frac{f_2}{f_1} 100\% = \frac{n}{f_1 t} 100\%. \qquad (69)$$

Результаты всех произведенных измерений подвергают обработке и строят кривые: P_1; I_1; M; n_2; s; $\cos\varphi$ и η в функции от p_2 при U и $f = \text{const}$. При этом:

за действительное приложенное линейное напряжение U принимают среднее из трех измеренных между фазами напряжений;

за действительный линейный ток I принимают также измеренное среднее арифметическое значение;

потребляемую мощность P_1 определяют как алгебраическую сумму показаний двух ваттметров, а коэффициент мощности по формуле

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}UI};$$

потери в обмотке статора вычисляют по формулам для соединения звездой $P_{м1} = 3I^2 r_к'$; для соединения треугольником $P_{м1} = I^2 r_к'$;

потери в стали $P_{ст}$ предполагают постоянными и определяют из опыта холостого хода в соответствии с приложенным напряжением;

электромагнитную мощность $P_{эм}$, т. е. мощность, передаваемую вращающимся полем со статора на ротор, вычисляют, как

$$P_{эм} = P_1 - P_{м1} - P_{ст}; \tag{70}$$

потери в обмотке ротора $P_{м2}$ равны произведению скольжения на электромагнитную мощность

$$P_{мг} = \frac{P_{эм}\,s}{100}; \tag{71}$$

механические потери $P_т$ считают постоянными и берут из опыта холостого хода;

добавочные потери $P_д$ в асинхронных машинах определяют по формуле для номинального режима

$$P_д = 0{,}005\,P_{1н}, \tag{72}$$

а для любого другого пересчитываются пропорционально квадрату тока

$$P_д = \left(\frac{I}{I_д}\right)^2 0{,}005P_{1н}; \tag{73}$$

полезная (отдаваемая) мощность P_2 равна разности между подведенной мощностью и суммой всех перечисленных потерь, т. е.

$$P_2 = P_1 - (P_{м1} + P_{ст} + P_{м2} + P_т + P_д) = P_1 - \sum P. \tag{74}$$

К. п. д. η подсчитывают по известной формуле

$$\eta = 100\left(1 - \frac{\sum P}{P_1}\right)\%. \tag{75}$$

Снятие зависимости вращающего момента от скольжения. Помимо рабочих характеристик, большой интерес представляет зависимость вращающего момента, развиваемого двигателем, от скольжения, начиная от малого скольжения, соответствующего нормальному эксплуатационному режиму, и кончая максимальным при полной остановке.

Определение вращающего момента M может быть произведено, если известна полезная мощность, по формуле

$$M = \frac{P_2}{n} 974, \tag{76}$$

где n — скорость вращения машины в *об/мин.*

Однако в ряде случаев определение полезной мощности машин затруднительно и возникает необходимость определения момента непосредственно.

Обычно для этого применяют или способ балансирного генератора, называемого пендель-машиной, с измерением момента динамометром или метод определения момента посредством тормозной машины.

Первый метод требует наличия специальной машины и, кроме того, измерение продолжается сравнительно долго, что не всегда возможно, например, при номинальном напряжении и малой скорости вращения (в режиме короткого замыкания). Второй метод сравнительно прост и дает практически достаточную точность. Остановимся на нем несколько подробнее.

Ввиду того что может появиться необходимость снятия момента при работе машины как в двигательном, так и в генераторном режимах, а в ряде случаев и при реверсировании испытуемой машины, схема испытаний должна давать возможность легко осуществлять эти переходы (см. гл. VI).

Полезная мощность испытуемой машины расходуется на создание полезной мощности тормозной машины и покрытие ее потерь. В случае работы тормозной машины в генераторном режиме

$$P_{\text{им. пол}} = P_{\text{тм. пол}} + I^2_{\text{я. тм}} R_{\text{я. тм}} + \Delta U_{\text{щ}} I_{\text{я. тм}} + P_{\text{маг. тм}} + P_{\text{мех. тм}} + P_{\text{доб. тм}}, \tag{77}$$

где $P_{\text{им. пол}}$ — полезная мощность испытуемой машины;
$P_{\text{тм. пол}}$ — полезная мощность тормозной машины;
$I_{\text{я. тм}}$ — ток якоря тормозной машины;
$R_{\text{я. тм}}$ — сопротивление якоря тормозной машины;
$\Delta U_{\text{щ}}$ — падение напряжения в щетках тормозной машины;
$P_{\text{маг. тм}}$ — потери в стали тормозной машины;
$P_{\text{мех. тм}}$ — механические потери тормозной машины;
$P_{\text{доб. тм}}$ — добавочные потери тормозной машины,

$$P_{\text{тм}} = U_{\text{тм}} I_{\text{я. тм}}, \tag{78}$$

где $U_{\text{тм}}$ — напряжение на зажимах тормозной машины, равное

$$U_{\text{тм}} = E_{\text{тм}} = I_{\text{я. тм}} R_{\text{я. тм}} - \Delta U_{\text{щ}}. \tag{79}$$

В соответствии с ГОСТ 183—55 добавочные потери составляют 1% от полезной мощности, т. е.

$$P_{\text{доб. тм}} = 0{,}01 P_{\text{пол. тм}}. \qquad (80)$$

Решив совместно уравнения (77) — (80), получим

$$P_{\text{им. пол}} = 1{,}01\,(E_{\text{тм}} I_{\text{я. тм}} + P_{\text{маг. тм}} + P_{\text{мех. тм}}). \qquad (81)$$

Из опыта снятия потерь холостого хода двигателя с независимым возбуждением имеем:

$$\left.\begin{aligned} &P_{\text{маг. тм}} + P_{\text{мех. тм}} + E_{\text{о. тм}} I_{\text{я}};\\ &P_{\text{им. пол}} = 1{,}01\,(E_{\text{тм}}\, I_{\text{я. тм}} + E_{\text{о. тм}}\, I_{\text{о. тм}}, \end{aligned}\right\} \qquad (82)$$

где $E_{\text{о. тм}}$ — э. д. с. холостого хода тормозной машины, которую, пренебрегая влиянием реакции якоря, можно считать равной

$$E_{\text{тм}} = E_{\text{о. тм}}.$$

Тогда полезная мощность испытуемой машины будет равна

$$P_{\text{им. пол}} = 1{,}01 E_{\text{о.тм}}\,(I_{\text{я. тм}} + I_{\text{о. тм}}). \qquad (83)$$

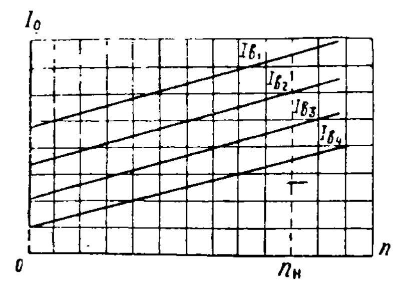


Рис. 80. Зависимость тока холостого хода тормозной машины от скорости вращения при разных возбуждениях

В случае работы тормозной машины в двигательном режиме вывод аналогичен, только ток холостого хода имеет отрицательное значение. Окончательно для определения $P_{\text{им. пол}}$ можно написать уравнение

$$P_{\text{им. пол}} = 1{,}01 E_{\text{о. тм}}\,(I_{\text{я. тм}} \pm I_{\text{о. тм}}), \qquad (84)$$

которое пригодно для работы в обоих режимах.

После этого выражение для момента принимает вид:

$$M_{\text{им. пол}} = 1{,}01 \cdot 975\,\frac{E_{\text{о. тм}}}{n}\,(I_{\text{я. тм}} \pm I_{\text{о. тм}}). \qquad (85)$$

Из выражения (85) следует, что для определения полезного момента должны быть известны в случае тормозной машины зависимости:

$$\frac{E_{\text{о. тм}}}{n} = f\,(I_{\text{в. тм}}) \text{ и } I_{\text{о. тм}} = f\,(n)$$

при $I_{\text{в. тм}} = \text{const}$.

Для нескольких значений тока возбуждения в процессе испытаний должен измеряться ток якоря и скорость вращения тормозной машины.

Перед снятием момента тормозную машину необходимо тарировать, сняв на ней потери холостого хода в двигательном режиме

при независимом возбуждении. При использовании компаундных машин в качестве тормозных последовательная обмотка должна быть отключена.

После того как на тормозной машине сняты потери холостого хода, по данным испытаний строят зависимость

$$I_0 = f(n) \quad \text{при} \quad I_в = \text{const}.$$

Эта зависимость выражается кривыми, представленными на рис. 80, где $I_{в1} < I_{в2} < I_{в3} < I_{в4}$; для удобства работы зависимость $I_0 = f(n)$ можно выразить математически:

$$I_0 = I_0' + An,$$

где $I_0' = I_0$ при $n = 0$;

$$A = \frac{I_{оп} - I_0}{n_{ном}}, \qquad (86)$$

где $I_{оп}$ — ток холостого хода при $n = n_{ном}$;

$n_{ном}$ — номинальная скорость вращения.

Используя выражения (85) и (86), можно легко определить полезный момент испытуемой машины $M_{им.\,пол}$ для любых значений нагрузки и скорости вращения, подставляя в эти формулы для различных значений $I_в$ соответствующие величины I_0 и A.

ГЛАВА V

ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОТЯГОВЫХ АППАРАТОВ

§ 26. Программы испытаний

Для электрических аппаратов установлены два основных вида испытаний: контрольные и типовые. Контрольным подвергается каждый изготовленный или выпущенный из ремонта аппарат, типовым — только аппараты новых типов после их изготовления или серийные после изменений конструкции, материалов, технологии производства, если при этом изменяются номинальные характеристики аппаратов.

В процессе контрольных испытаний проверяется соответствие каждого аппарата чертежам и техническим требованиям, которым он должен удовлетворять. Независимо от назначения аппарата, системы привода и режимов его работы испытания должны проводиться по следующей программе:

1) внешний осмотр состояния аппарата и определение качества сборки;

2) проверка регулировки аппарата и технических данных, определяющих номинальные характеристики аппаратов (величины разрыва контактов в разомкнутом состоянии, величины провала, притирания и контактного давления, сопротивления катушек и других токоведущих элементов);

3) определение минимальных или максимальных величин (тока, напряжения, давления воздуха и т. п.), необходимых для приведения аппарата в действие;

4) проверка герметичности электропневматических вентилей и пневматических цилиндров;

5) проверка совместного действия аппаратов, собранных на общей панели или под общим кожухом, если совместная работа их обусловлена условиями эксплуатации;

6) проверка электрической прочности.

При типовых испытаниях проверка аппаратов производится по более расширенной программе, позволяющей установить соответствие данного типа техническим условиям и ГОСТам, которыми являются: ВТУ НКЭП 559—45 на аппараты электрические постоянного тока для подвижного состава; ГОСТ 2933—45 на аппараты электрические низкого напряжения; технические условия на элек-

тровозную и тепловозную аппаратуру, согласованные между заводами-поставщиками и МПС СССР. В программу испытаний включаются:

1) контрольные испытания;

2) проверка нагрева катушек и других элементов аппарата, установление максимального допустимого тока нагрузки для заданного режима работы;

3) снятие тяговых, механических и регулировочных характеристик;

4) определение скорости срабатывания, разрывной способности и дугогашения;

5) распределение индукции поля гашения;

6) испытания изоляции;

7) измерение падения напряжения в силовой цепи;

8) испытание на износ и вибрацию;

9) проверка качества антикоррозийных покрытий;

10) взвешивание аппарата;

11) снятие характеристики контактных, отключающих и других пружин и проверка соответствия их расчетным данным;

12) проверка соответствия материала ответственных деталей техническим требованиям чертежа путем химического анализа;

13) проверка взаимозаменяемости деталей аппарата одного типа.

Если аппарат новый, то проведение испытаний необходимо в объеме всей программы после предварительной отладки аппарата. Если же аппарат является модификацией серийного типа, то программа может быть сокращена. Для испытаний отбираются аппараты, прошедшие контрольные испытания и соответствующие чертежам. Последовательность выполнения отдельных пунктов программы в большинстве случаев не имеет существенного значения и может проводиться в любом порядке, исходя из того, чтобы более рационально использовать время и оборудование. Все испытания необходимо проводить в условиях, аналогичных эксплуатационным.

Если при типовых испытаниях будет установлено несоответствие аппарата техническим условиям и стандартам, рекомендуется испытания повторить на удвоенном количестве аппаратов. В случае повторного несоответствия хотя бы одного из образцов производство их должно быть прекращено до устранения причин, вызывающих это несоответствие. Затем испытания проводятся снова. При этом программа может быть сокращена и испытаниям подвергнуты только узлы, вызвавшие повторные испытания.

§ 27. Методы контрольных испытаний

Перед началом испытаний аппарат тщательно осматривают. При этом устанавливают правильность сборки аппарата и схемы соединений, соответствие основных размеров чертежу, правильность заполнения фирменной таблички, отсутствие заедания подвижных частей, удовлетворительную смазку их, наличие необходимых пру-

жинных и простых шайб, надежность закрепления всех болтов и гаек, правильность пригонки контактов и деталей магнитопровода и в отсутствии других механических дефектов. Если аппарат соответствует всем этим требованиям, его устанавливают на специальную стойку в нормальное положение. Для проведения испытаний к аппарату подключают электрические провода от испытательного стола, подводят сжатый воздух при пневматическом приводе и включают измерительные приборы.

Проверка технических данных. Первоначально измеряют разрыв между контактами, провал, притирание и давление между контактами. Разрыв определяют при разомкнутых контактах, как минимальное расстояние в свету между контактами. Притирание измеряют, как расстояние, которое проходит подвижный контакт от момента соприкосновения с неподвижным контактом до полной остановки. Измерения производят обычно штангенциркулем или миллиметровой линейкой.

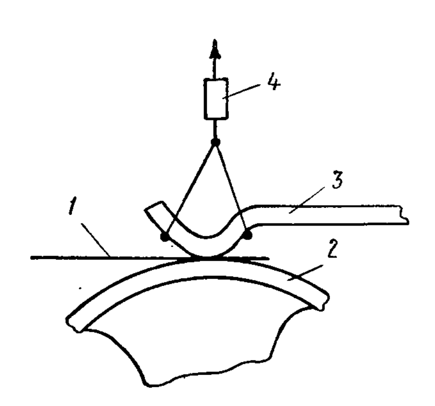


Рис. 81. Схема измерения контактного давления при небольших усилиях:

1 — бумажная полоска; 2 — сегмент; 3 — палец; 4 — динамометр

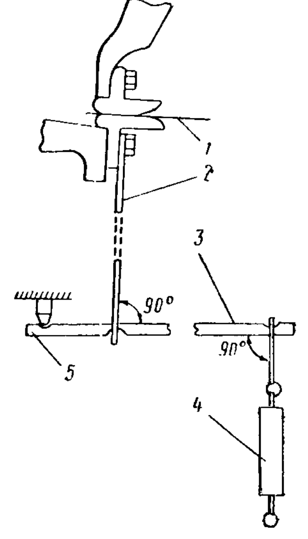


Рис. 82. Схема измерения контактного давления при больших усилиях:

1 — бумажная полоска; 2 — тяга 3 — рычаг; 4 — динамометр; 5 — опора

Давление на контакт определяют дважды: в момент соприкосновения контактов — начальное и после полного притирания — конечное, а для пневматических аппаратов — при минимальном и полном давлении воздуха. Для измерения давления используют динамометр или весовые гири, которые подвешивают к подвижному контакту при помощи проволочной петли или шнура, и прокладывается между контактами папиросная бумага (рис. 81). Давление определяется тем усилием, которое надо приложить к подвижному контакту, чтобы освободить без повреждения полоску бумаги, зажатую между контактами. Во избежание получения неточных результатов усилие необходимо прикладывать перпендикулярно к плоскости, про-

ходящей через линию касания контактов. Точка приложения усилия должна находиться на линии касания контактов.

Если по конструктивным соображениям это невозможно, то замеряют плечи получающихся рычагов и определяют усилие для линии касания контактов. При больших давлениях применяют специальные тяги в сочетании с системой рычагов (рис. 82).

Для измерения омического сопротивления токоведущих частей аппарата применяют метод мостика или вольтметра-амперметра. В качестве приборов в первом случае используют мосты постоянного тока двойные или одинарные в зависимости от величины измеряемого сопротивления, во втором — вольтметр и амперметр с точностью не ниже класса 0,5, которые подключают по схеме рис. 83,*а* — при измерениях малых сопротивлений и 83,*б* — при измерении больших сопротивлений. Под малым сопротивлением обычно понимается такое, величина которого меньше 0,01 сопротивления вольтметра.

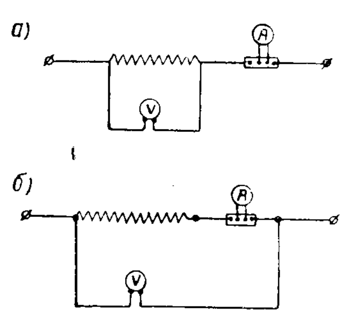


Рис. 83. Схема измерения сопротивления аппаратных катушек методом вольтметра-амперметра:

а—при малом значении; *б*—при большом значении сопротивлений

При измерении сопротивления элементов, обладающих большим температурным коэффициентом (медь, алюминий), необходимо точно фиксировать температуру окружающей среды и следить за тем, чтобы температура измеряемого элемента не отличалась от окружающей среды. Производить измерения в таких случаях необходимо при токе, не превосходящем 10% рабочего тока, чтобы избежать подогрева обмоток.

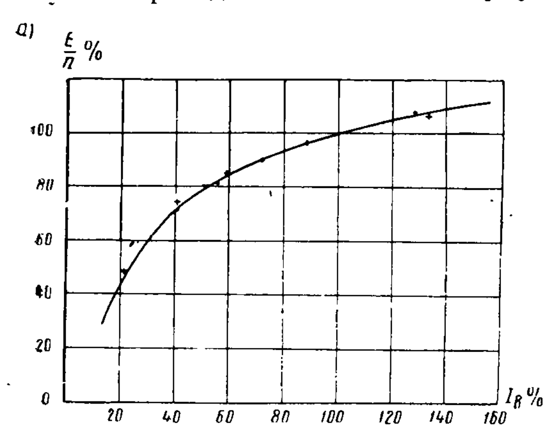
Измеренное сопротивление обычно приводят к температуре 20°С по формуле (32) и оно не должно отличаться от расчетного более чем на +8, —5% для катушек, ±10% для реостатных ступеней из чугуна и ±5% для сопротивлений из жаростойких сплавов.

Определение минимальных величин срабатывания. Определение минимальных величин (тока, напряжения, давления), необходимых для приведения аппарата в действие, производится на полностью собранном и установленном в рабочем положении аппарате. Определяемую величину медленно повышают и фиксируют те значения, при которых: подвижная система аппарата трогается с места; происходит соприкосновение контактов; заканчивается полное притирание контактов.

После этого устанавливают номинальное значение указанной величины и начинают медленное снижение ее, отмечая значение этой величины в момент отхода и полного размыкания контактов.

Указанные проверки производят не менее 3 раз для пневматических аппаратов и 5—6 раз для электромагнитных с обязательным изменением полярности катушек. За окончательный результат берется среднее значение проверяемой величины. Электромагнит-

ные аппараты проверяют также на наличие остаточного магнетизма, для чего катушки нагружают тройным током и отключают. При этом наблюдают, не прилипает ли якорь в момент выключения. Если катушки привода питаются от аккумуляторных батарей, аппарат должен четко срабатывать, когда обмотки привода нагреты до +40°С при понижении напряжения до 70%, и при понижении до 80%, если они питаются от генератора. Аппараты с пневматическим приводом должны удовлетворительно работать при минимальном давлении воздуха 3,5 *кг/см²*. Одновременно с этим проверяют четкость срабатывания аппарата при номинальных данных. Например, при электропневматическом приводе определяют ток, при котором аппарат включается, когда давление в питающей магистрали составляет 5 *кг/см²*, т. е. равно номинальному. Наряду с этим производят проверку герметичности цилиндров пневматических приводов и электропневматических вентилей при максимальном рабочем давлении. Для этого обычно испытуемый аппарат соединяют с резервуаром емкостью 1 *л*, который наполнен сжатым воздухом давлением 6 *кг/см²*, и проверяют утечку воздуха через цилиндр или вентиль. Практика показывает, что герметичность можно считать удовлетворительной, если за 10 *мин* давление воздуха снижается в резервуаре не более чем на 5% при проверке цилиндров и на 10% — при проверке вентилей и клапана пантографа.



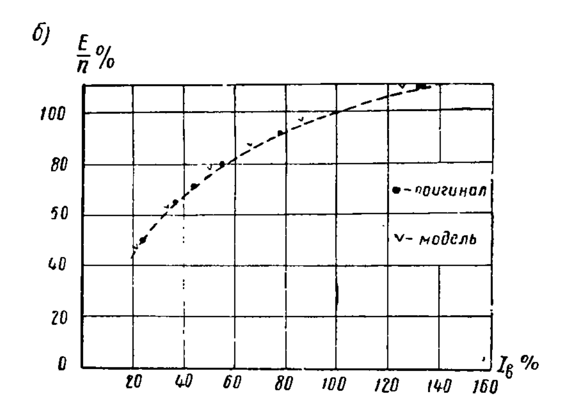


Рис. 84. Сравнение характеристик модели и оригинала (двигатели НБ-406А) в относительных единицах:

а — характеристики холостого хода; *б* — нагрузочные характеристики

Проверка совместной работы комплекта. Комплект из нескольких аппаратов, работающих под общим кожухом на одной панели, после предварительных испытаний каждого аппарата по программе контрольных испытаний проверяется на совместное действие аппа-

ратов. К таким комплектам относятся панели управления, пусковые панели, распределительные щитки и т. п.

Испытания комплекта обычно состоят в проверке схемы соединений, правильности и последовательности включения всех аппаратов, работы блокировок и реле путем искусственного размыкания.

В особо ответственных случаях работу комплекта проверяют вместе с электрическими машинами, с которыми испытуемые аппараты будут работать совместно в эксплуатации. Машины присое-

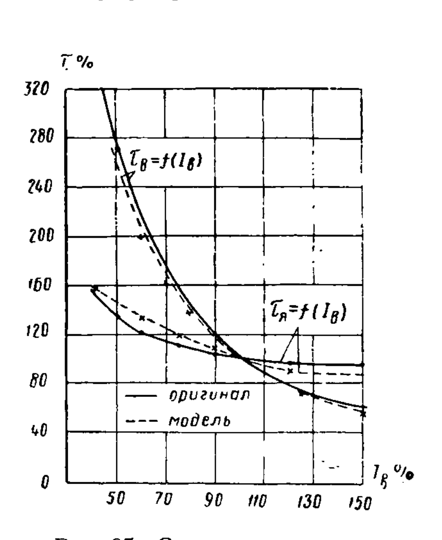


Рис. 85. Сравнение постоянных времени цепей возбуждения и якоря модели и оригинала (двигателя НБ-406) в относительных единицах

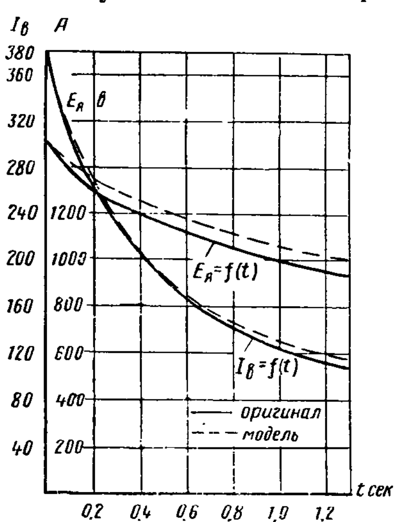


Рис. 86. Сравнение кривых изменения э. д. с. якоря и тока возбуждения во времени модели и оригинала (НБ-406А)

диняют к аппаратуре согласно схеме, нагружают электрически или механически и подвергают проверке в соответствующих режимах (пуск, разгон, регулирование нагрузки, торможение и т. п.).

Однако проведение указанных испытаний является трудоемким и на реальных машинах осуществить их не всегда представляется возможным, так как при этом требуется дорогостоящее оборудование (например тяговые электродвигатели). Вследствие этого такие испытания приурочиваются к типовым, а вместо тяговых машин локомотивов целесообразно применение их физических или математических моделей.

В качестве физической модели тяговых двигателей типа НБ-406 можно рекомендовать машины серии ПН-28,5, если изменить их номинальные данные 110 *в*, 40 *а*, 2 800 *об/мин* соответственно на 100 *в*, 30 *а* и 1 800 *об/мин* и перемотать обмотки параллельного возбуждения на обмотки последовательного возбуждения при сохранении ампер-витков. Для оценки качества моделирования сравним основные критерии подобия модели машины ПН-28,5 и ори-

гинала тягового двигателя НБ-406, которым являются: критерии $П_1$ — характеризующий совпадение относительных характеристик холостого хода и нагрузочных, и $П_3$, определяющий подобие магнитных систем и равный отношению индуктивности машин или постоянных времени элементов в относительных единицах при разных значениях тока возбуждения.

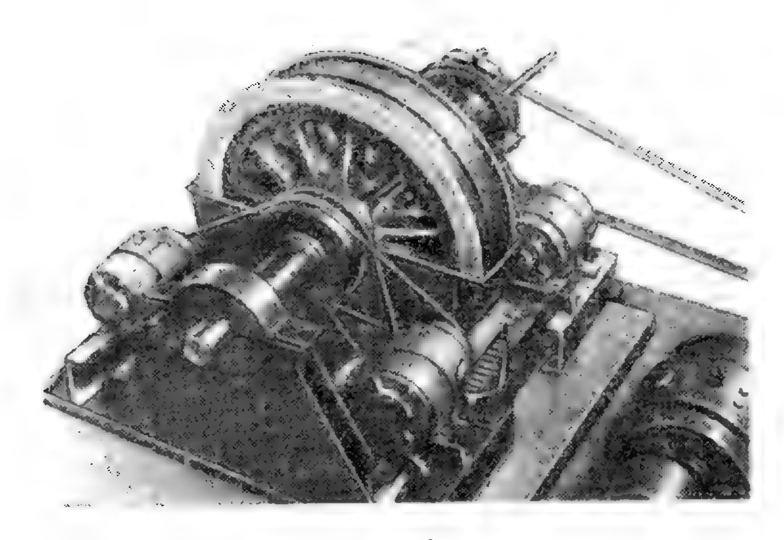


Рис. 87. Модель, имитирующая работу электрооборудования электровоза

На рис. 84 и 85 соответственно приведены критерии $П_1$ и $П_3$, определенные опытным путем, сходство которых свидетельствует об аналогии статических характеристик указанных машин. Для получения аналогии нестационарных режимов работы машин необходимо совпадение дополнительных критериев подобия, которые зависят от вихревых токов в станине, переходного сопротивления в контакте щеток, взаимоиндукции якоря и обмоток возбуждения и т. п. Совпадение кривых изменения тока возбуждения и э. д. с. якоря модели и оригинала в переходном режиме (рис. 86) показывает хорошее сходство и этих критериев подобия.

Установив подобие машин серии ПН тяговым двигателям, можно создать модель, имитирующую движение поезда с электровозом, тепловозом (при помощи маховичной установки, в качестве которой удобно использовать колесную пару электровоза).

На рис. 87 показана модель, разработанная и построенная в Центральной лаборатории НЭВЗа.

Соединив согласно электрической схеме локомотива испытуемый комплект аппаратов, можно проверять работу аппаратуры во всех эксплуатационных режимах. Работа комплектов аппаратов считается удовлетворительной, если действия аппаратов в эксплуатационных режимах будут обеспечивать правильные включения и выключения соответствующих участков силовой цепи.

Физическую модель локомотива можно заменить математической с применением электронно-счетных машин непрерывного действия (типов ИПТ-5, МН-7, МПТ-9 и т. п.), с помощью которых можно также проверять действие аппаратуры в схемах.

Проверка регулировки аппаратов. При испытании аппаратов защиты постоянного тока — реле перегрузки, быстродействующих выключателей и других аппаратов обязательно производится проверка тока уставки и его регулировка в случае необходимости. Для этого к силовым обмоткам испытуемого аппарата подключают низковольтный многоамперный агрегат типа АНД, регулируя возбуждение которого, медленно повышают ток в силовой цепи до величины срабатывания испытуемого аппарата. Величину тока срабатывания проверяют не менее трех раз и берут среднее значение. Отсчеты тока производят по амперметру, который включают в цепь при помощи шунта.

Регулировка тока уставки реле перегрузки или напряжения производится изменением натяжения пружины путем поворота регулировочного винта, а для быстродействующих выключателей — изменением сопротивления магнитопровода ввинчиванием или вывинчиванием регулировочных винтов.

Схема включения аппарата при регулировке из-за ее простоты здесь не приводится.

Проверка развертки групповых контакторов. На валу аппарата монтируют шкалу, разделенную на градусы, и шкив или рычаг, с помощью которых медленно вращают вал. При вращении вала по шкале фиксируют моменты включения и выключения каждого пальца и контакторного элемента аппарата. Результаты испытаний оформляют в виде диаграммы включения пальцев и элементов по градусам шкалы, называемой разверткой группового аппарата.

Проверка статических характеристик пантографа. Пантограф устанавливают в рабочее положение по уровню на козлы, подключают к напорной магистрали и поднимают его. Правильность регулировки пантографа проверяют с помощью пружинного динамометра и рейки с масштабными делениями, снимая при подъеме и опускании зависимость нажатия пантографа от высоты подъема.

Чрезмерно большая разность усилий при подъеме и опускании свидетельствует о ненормальном трении в механизмах, что может быть результатом дефектов сборки. В современных электровозах и моторвагонных секциях сила нажатия принимается равной 7—8 *кг* при подъеме и 12—13 *кг* при опускании. Характеристика при этом должна быть во всем рабочем диапазоне в норме.

Проверка электрической прочности изоляции. Проверка электрической прочности изоляции производится при полностью собранном аппарате. Испытательное напряжение прикладывается поочередно как между всеми электрическими независимыми токоведущими деталями, так и между этими деталями и корпусом аппа-

рата. Порядок испытаний аналогичен описанному в § 23 для электрических машин, а схема испытательной установки подобна рис. 28.

Изоляция аппаратов должна выдерживать без пробоя или поверхностного перекрытия в течение 1 *мин* переменное напряжение промышленной частоты, эффективное значение которого указано в табл. 35 в зависимости от номинального напряжения аппарата.

При контрольных испытаниях аппаратов массового производства допускается уменьшать время испытания от 1 *мин* до 1 *сек* при условии повышения испытательного напряжения на 20% против значений, указанных в табл. 35.

Таблица 35

Номинальное напряжение аппарата U в *в*	Испытательное напряжение в *в*
До 125	800
Выше 125 до 500	$2U \div 1\,000$
» 500 » 3 300	$2{,}25U \div 2\,000$

Для комплектного устройства из нескольких аппаратов, электрически соединенных между собой, испытательное напряжение должно быть на 15% ниже наименьшего испытательного для каждого из аппаратов комплекта.

Измерение испытательного напряжения можно производить на стороне обмотки трансформатора низкого напряжения с последующим пересчетом по коэффициенту трансформации. Если мощность испытательного трансформатора меньше 5 *ква*, то измерения надо производить на стороне высокого напряжения непосредственно или через измерительный трансформатор напряжения.

§ 28. Методика типовых испытаний

Типовые испытания аппарата проводятся после контрольных испытаний только в тех случаях, когда аппарат прошел проверку согласно программе и соответствует всем требованиям и нормам.

Испытание на нагревание. Испытание на нагревание является одним из самых основных и проводится для каждого типа аппаратов без исключения при полностью собранном аппарате, рабочем положении всех его частей и температуре окружающего воздуха в пределах $+10 \div +40°$.

Перед началом испытаний измеряют сопротивление обмоток в практически холодном состоянии, устанавливают термопары на контакты, сегменты, токоведущие шунты и шины, дугогасительные катушки и определяют падение напряжения между контактами вдоль всех деталей, входящих в силовую цепь аппарата.

Для измерения падения напряжения в силовой цепи аппарата устанавливают ток, равный 70—75% от длительного, и милливольтметром при помощи щупов измеряют падение напряжения на отдельных деталях и в целом на всем аппарате. Особое внимание следует обращать на величину падения напряжения между контактами, которое зависит от давления между ними и площади их прилегания.

Площадь прилегания контактов должна быть не менее 70% их рабочей поверхности, что проверяют, зажимая между ними полоски из папиросной (копировальной) бумаги, на которой при включении аппарата остается отпечаток поверхности соприкосновения контактов при замыкании.

Если площадь соприкосновения контактов окажется меньше нормы, тепловые испытания не должны проводиться и необходима подгонка контактов.

Испытание на нагревание токоведущих частей силовой цепи аппарата производят обычно при двух последовательно соединенных аппаратах. Реверсоры и контроллеры при этом устанавливают в положение, позволяющее последовательно соединить максимальное количество контакторных элементов, пальцев, сегментов. Все соединения между выводами аппарата и питающим генератором выполняют проводами, сечение которых выбирают из расчета плотности тока 1,5 *а/мм*^{2}. Провода (кабели) должны иметь наконечник с размерами, соответствующими сечению кабеля, и крепление всех соединений должно быть исключительно надежно.

Для измерения температуры элементов силовой цепи аппарата: контактов, искрогасительных катушек, гибких соединений и пр. обычно применяют термопары (хромель-алюмелевые или медно-константановые) и жидкостные термометры, которые устанавливают в наиболее нагретых и доступных местах аппаратов, плотно прикручивая тонкой проволочкой, приклеивая замазкой или заклинивая так, чтобы шарик термометра и горячий спай термопары были в непосредственном соприкосновении с поверхностью нагретой детали. При испытании аппарат устанавливают в нормальное рабочее положение и включают согласно рабочей схеме. Для аппаратов, имеющих кожух, испытания необходимо проводить с кожухом.

Как правило, испытания производят при номинальном длительном или повторно-кратковременном и часовом режимах.

В первом случае режим проводят до установившегося значения температуры всех частей аппарата, отсчеты которой производят через 15—20 *мин*. Режим считается установившимся, если при четырех последовательных отсчетах, взятых через 15 *мин*, показания приборов остаются без изменения. Для ускорения установления режима испытания можно начинать на предварительно нагретом аппарате.

При определении перегрева при часовом режиме отсчеты показания температуры производят не реже чем через каждые 10 *мин* и испытания необходимо начинать только с практически холодного состояния.

Если при длительном режиме перегрев будет отличаться более чем на +5°С от величины, допустимой по нормам, то режим следует повторить (можно с горячего состояния), изменив ток, чтобы получить заданный перегрев. Величину нажатия контактов устанавливают минимальной, соответственно предельно-допустимому их износу.

Испытание на нагревание катушек аппарата производят при номинальном и повышенном до 110% напряжении (токе) до установившейся температуры при нагретом состоянии его силовой цепи. Перегрев обмотки катушки, как правило, определяют методом сопротивлений, сущность которого и расчетные формулы (34) или (35) описаны в § 23.

Перед измерением сопротивления катушек в холодном состоянии они должны находиться в помещении, в котором производится испытание, не менее 8 *ч*. Температура последнего должна быть зафиксирована.

Перегрев сердечника магнитопровода и поверхности изоляции катушек определяется термометрами или термопарами, устанавливаемыми на магнитопроводе в количестве не менее трех, отсчеты по которым производят также через 15—20 *мин*. За температуру окружающей среды принимают среднее арифметическое показаний нескольких термометров, расположенных вокруг аппарата на расстоянии 1—2 *м*, на $1/2$ его высоты в точках, защищенных от тепловых излучений и посторонних воздушных течений. Каждый термометр рекомендуется погрузить в наполненный до половины трансформаторным маслом сосуд объемом около 200 $см^3$.

Если по окончании режима перегрев катушки отличается от допустимого более чем на +5° С, то испытание надо повторить, увеличив или уменьшив напряжение (ток) так, чтобы получить заданный нагрев. Пересчет температуры при переходе с одного режима на другой можно производить по формулам:

при нагревании

$$\tau = \tau_{\infty}\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right),$$

при остывании

$$\tau = \tau_{\infty} e^{-\frac{t}{T}};$$

зависимость между перегревом и подведенной мощностью

$$P = \alpha F \tau, \qquad (87)$$

где τ — перегрев в °С;

τ_{∞} — установившийся перегрев;

T — постоянная времени нагрева в *сек*;

t — время нагрева в *сек*;

α — коэффициент теплоотдачи в $вт/дм^2 °С$;

F — поверхность рассеяния тепла катушкой в $дм^2$.

Постоянную времени определяют по кривой нагревания, как отрезок времени от начала координат до точки, в которой перегрев равен $0{,}632\tau_{\infty}$ или $0{,}368\tau_{\infty}$ по кривой остывания; коэффициент теплоотдачи α, как отношение подведенной мощности к произведению площади поверхности катушки на ее перегрев.

Если почему-либо не представляется возможным в конце режима измерить сопротивление, то по окончании его снимают кривую остывания и способом экстраполяции по методике, описанной в § 23, определяют максимальный перегрев в момент отключения.

Таблица 36

Наименование деталей аппаратов и материала	Метод измерения температуры	Допустимый перегрев в °С	
		Изоляция класса А	Изоляция класса В
Катушки из изолированного провода	Сопротивления, термометра или термопары	85 65	105 85
Однослойные токовые последовательные катушки из голого или эмалированного провода	Термометра или термопары	90	90
Сплошные стыковые медные контакты	То же	75	75
Клиновые медные и бронзовые контакты	»	50	50
То же для трубчатых предохранителей	»	85	85
Щеточные контакты	»	30	30
Серебряные контакты и контакты с серебряными напайками	»	85	85
Голые медные шины и их контактные соединения	»	50	50
Материалы сопротивлений:			
константан, чугун,	»	350	350
фехраль	»	450	450
держатели сопротивлений	»	250	250
Воздух, выходящий из сопротивлений на расстоянии 25 *мм* от кожуха	Термометра	175	175

Примечание. Для голых медных шин, непосредственно соединенных с деталями, допустимый перегрев которых больше 50° С, разрешается такой же, как и для этих деталей.

Определение температуры перегрева катушек и других частей аппаратов переменного тока производят так же, как и для постоянного тока. Питание катушек при нагреве в этом случае осуществляют от источника переменного тока, а измерение сопротивления — от источника постоянного тока. Измерение температуры при тепловом режиме на переменном токе обычно осуществляется термопарами, и в момент измерения сопротивления катушка рубильником отключается от источника переменного тока и быстро подключается к измерительному контуру, состоящему из батареи, регулировочного сопротивления, вольтметра и амперметра. Количество термопар на стальных сердечниках магнитопровода и массивных металлических деталях должно быть больше по сравнению с постоянным током для более точного определения их температуры. Применение ртутных термометров не допускается вследствие наведения в шариках ртути вихревых токов, повышающих показания термометра.

Превышение температуры частей аппаратов переменного и постоянного тока над температурой окружающего воздуха при испы-

тании их в номинальном режиме не должно превосходить согласно ВТУ НКЭП 559—45 значений, указанных в табл. 36.

Снятие тяговых и механических характеристик. Тяговые характеристики снимаются для определения усилия, развиваемого электромагнитной системой аппарата $F_{эл}$ при различных ампер-витках катушек привода AW в зависимости от величины зазора δ между якорем и сердечником.

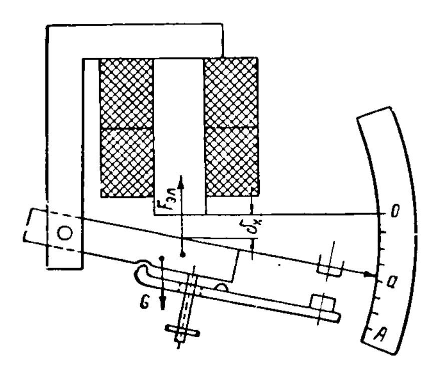


Рис. 88. Схема измерения воздушного зазора при снятии тяговых и механических характеристик

Для снятия характеристик аппарат устанавливают в нормальное рабочее положение и удаляют все пружины, установленные на подвижной системе, для того, чтобы электромагнитный привод не производил никакой другой работы, кроме перемещения якоря. На подвижной части аппарата укрепляют крючок для укрепления груза или динамометра. С целью удобства определения зазора между сердечником и якорем на последнем вдоль его продольной оси устанавливают стрелку (рис. 88), конец которой перемещается на достаточно большое расстояние при небольшом зазоре. Для определения величины зазора у конца стрелки устанавливают шкалу из миллиметровой бумаги, на которой отмечают положение острия стрелки при зазоре, равном нулю, и максимальном значении, что соответствует полностью включенному или полностью выключенному положению подвижной системы.

Расстояние между этими отметками делят на несколько равных частей (обычно на 5 или 10) и тщательно измеряют максимальную величину воздушного зазора в центре сердечника, толщину немагнитной прокладки, расстояние от оси вращения до центра сердечника и до точки подвеса груза или динамометра. Каждое деление на шкале у острия стрелки соответствует определенной величине зазора δ_x, вычисляемой по формуле

$$\delta_x = \frac{\delta_{max}}{A} a, \qquad (88)$$

где δ_{max} — максимальный магнитный зазор в *мм*;

A — количество делений на шкале, соответствующее зазору δ_{max};

a — количество делений на шкале от начала шкалы до положения острия стрелки.

После этих подготовительных операций включают цепь катушки привода, включают и определяют минимальный ток, при котором происходит срабатывание аппарата. При минимальном токе срабатывания, поддерживаемым постоянным во время опыта с помощью

динамометра или груза, измеряют минимальное усилие, необходимое для отрыва якоря от сердечника и удержания его в положении, соответствующем каждому делению шкалы, а следовательно, и определенному значению зазора. Полученные усилия после приведения их к центру сердечника дают значение полного тягового усилия, развиваемого электромагнитной системой при данном токе (ампер-витках) катушки в зависимости от зазора.

Аналогичный опыт повторяют и для других значений ампер-витков и по результатам испытаний строят тяговые характеристики $F_{эл} = f(\delta)$ при $AW = \text{const}$.

Обычно тяговые характеристики снимают для ампер-витков катушки привода, соответствующих значениям тока срабатывания при минимальном, номинальном и повышенном значении питающего напряжения как при практически холодном состоянии катушек, так и нагретом до максимально допустимой температуры. Усилие, необходимое для отрыва якоря от сердечника, не всегда возможно определить при больших значениях ампер-витков, и поэтому его определяют только для минимального тока срабатывания.

Если тяговое усилие очень большое, то при его определении можно применять рычажную передачу; в случае когда ось сердечника направлена горизонтально, а подвижная система вертикальна, то груз можно подвешивать через блок; при этом необходимо учитывать величину трения в блоке.

На рис. 89 приведены тяговые характеристики для электромагнитного контактора типа МК-310Б.

Снятие механической характеристики аппарата, представляющей зависимость сил сопротивления подвижной системы, приведенных к центру сердечника, от величины воздушного зазора между якорем и сердечником производят аналогично снятию тяговых характеристик. Для этого устанавливают все пружины, которые были сняты с подвижной системы, аппарат отключают от источника питания и при токе в катушке привода, равном нулю, подвижную систему передвигают до соприкосновения якоря с сердечником. Величину усилия, необходимую для перемещения системы при той или иной величине воздушного зазора, определяют при помощи груза или динамометра, обычно при тех же величинах зазора, как и в случае снятия тяговых характеристик. При этом особо отмечают точку касания контактов или размыкания блокировок, в которой усилие сопротивления возрастает на величину начального нажатия контактов.

По результатам испытаний строят кривую зависимости усилия сопротивления от величины зазора $F_{мех} = f(\delta)$ при $AW = 0$, которую наносят на тот же график, что и тяговые характеристики (см. рис. 89).

В нормально отрегулированном аппарате тяговая характеристика для минимального тока срабатывания должна быть несколько выше механической характеристики при всех значениях воздушного зазора от нуля до максимального. Если сопоставление этих

кривых показывает обратное, необходимы регулировка аппарата и правильный подбор характеристик пружин. Для реверсоров, контроллеров и других аналогичных аппаратов при снятии механических характеристик на их валу монтируют шкив или рычаг и шкалу, разделенную на геометрические градусы. К шкиву или рычагу прикрепляют динамометр или груз, а на кожухе или корпусе аппарата устанавливают стрелку против шкалы, разделенной на градусы и определяют усилие, необходимое для поворота вала аппарата, при условии, что оно направлено по касательной. Эти измерения производят для всего угла поворота вала несколько раз, вращая вал в обе стороны для достаточно большого числа делений шкалы, чтобы обнаружить все изменения усилий. В некоторых положениях, когда пальцы сбегают с сегментов или выступ кулачковой шайбы проходит контакторный элемент, усилие меняет знак. В этих точках необходимо изменить направление натяжения динамометра и определить усилие, необходимое для удержания аппарата в данном положении.

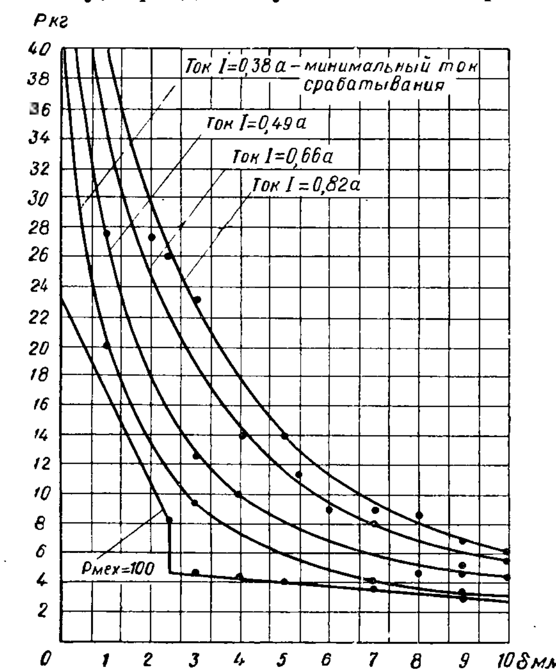


Рис. 89. Тяговые и механические характеристики электромагнитного контактора МК-310Б

Кроме определений усилий, необходимо также отмечать моменты включения и выключения всех пальцев, контакторных элементов и других деталей аппарата по градусам шкалы, т. е. снимать диаграмму включения и выключения.

Результаты испытаний приводят к валу аппарата и оформляют в виде кривой зависимости усилия и диаграммы включения и выключения от угла поворота.

Снятие регулировочных характеристик. Регулировочные характеристики снимают для реле, автоматов, регуляторов и тому подобных аппаратов и они представляют зависимость тока или напряжения, необходимого для приведения в действие аппарата, от значения регулировочного параметра, которым чаще всего служит натяжение пружины или положение регулировочных винтов магнитопровода.

Для снятия этих характеристик аппарат устанавливают в нормальное рабочее положение и включают по нормальной рабочей

схеме. После этого задают регулировочному параметру последовательно ряд значений и для каждого из них определяют величину тока (напряжения), необходимого для приведения аппарата в действие и затем отпадания подвижной системы.

Если регулировочных параметров несколько, то для всех параметров, кроме одного основного, устанавливают определенное постоянное значение и снимают зависимость тока действия аппарата от величины основного параметра.

После этого всем остальным параметрам устанавливают последовательно еще ряд значений и для каждого случая снова снимают регулировочную характеристику по основному параметру. В случае необходимости снимается второе семейство регулировочных кривых, причем в качестве основного параметра выбирают какой-либо другой.

Как правило, характеристики должны сниматься в возможном диапазоне изменения регулировочных параметров так, чтобы определить верхний и нижний пределы регулировки аппарата. При снятии их ток необходимо постепенно повышать или понижать до величины срабатывания или отпадания.

По результатам испытания строят семейство регулировочных характеристик, причем по оси абсцисс откладывают значение регулировочного параметра, а по оси ординат—величину тока срабатывания или отпадания.

Определение скорости срабатывания. Кривые скорости снимают для определения времени срабатывания каждого аппарата в его нормальном рабочем положении при соединении по нормальной рабочей схеме.

Скорость работы определяют как для включения, так и для выключения при различном числе ампер-витков электромагнитных аппаратов и различном давлении воздуха пневматических аппаратов.

При испытании электромагнитных аппаратов скорость срабатывания определяют обычно для тех же ампер-витков, что и для тяговых характеристик, а при пневматических — для минимально допустимого, номинального и максимального давления воздуха. Измерение производят методом обычного или электрического секундомеров или осциллографа. Выбор того или иного способа зависит от наличия оборудования, времени срабатывания и также от того, снимается ли полная кривая изменения скорости по времени или только величина времени срабатывания. Когда требуется определить только время работы и оно измеряется секундами, можно пользоваться обычным секундомером. Если же это время измеряется десятыми долями секунды, необходимо пользоваться электрическим секундомером, который включается одновременно с включением катушки привода аппарата и выключается его контактами, когда они замыкаются. Схемы включения электросекундомеров и правила пользования ими описаны в инструкциях, прилагаемых к секундомерам, и здесь не приводятся.

Для измерения малого времени срабатывания (сотые и тысячные доли секунды) или для получения кривых скорости срабатывания во всех случаях применяют осциллографы, при пользовании которыми можно рекомендовать следующие способы измерений.

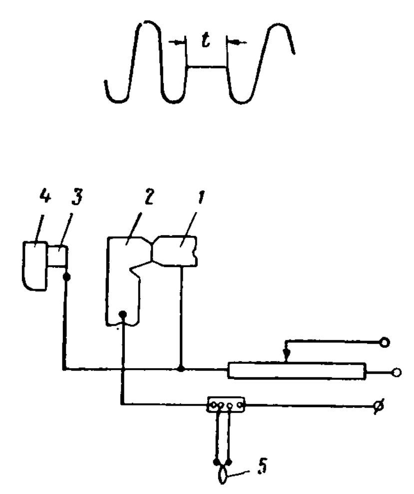


Рис. 90. Схема включения осциллографа для определения скорости срабатывания аппарата:

1 — неподвижный контакт; 2 — подвижный контакт; 3 — вспомогательный контакт; 4 — упор; 5 — шлейф осциллографа; t — время движения контактов

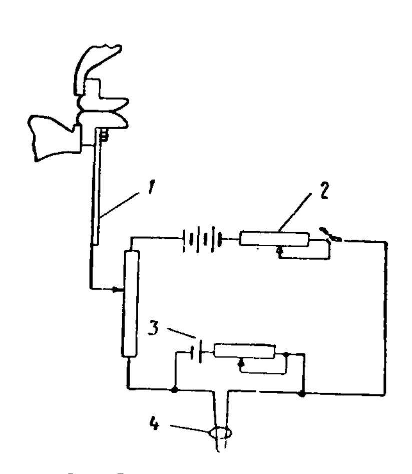


Рис. 91. Схема включения осциллографа для определения скорости движения контактов при коммутационных испытаниях аппарата:

1 — изоляционная тяга; 2 — сопротивление регулировки масштаба; 3 — компенсация начального тока; 4 — шлейф осциллографа

Первый способ. Один шлейф осциллографа включается в цепь катушки привода аппарата, а другой — в цепь переменного тока через связанные с подвижной системой вспомогательные контакты, которые выполнены таким образом, что цепь шлейфа замкнута только при включенном и выключенном аппарате (рис. 90). Во время движения подвижной системы цепь шлейфа разомкнута и он чертит нулевую линию, длина которой соответствует времени движения подвижной системы аппарата. При устройстве вспомогательных контактов необходимо следить за тем, чтобы они не вибрировали в момент замыкания, так как это искажает запись и влияет на точность измерения. В качестве вспомогательных контактов во многих случаях можно использовать основные контакты аппарата или контакты блокировок.

Второй способ. В тех случаях, когда желательно иметь запись скорости движения контактов на той же осциллограмме, на которой снят процесс разрыва дуги, можно применить схему рис. 91, в которой подвижный контакт реостата, включенного в цепь шлейфа, жестко связан с подвижной частью аппарата через специальную тягу из изоляционного материала. При размыкании контактов аппарата передвигается движок реостата и в результате

изменяется ток шлейфа, запись которого на осциллограмме показывает в масштабе кривую скорости.

Обычно, помимо этого шлейфа, включаются шлейф-отметчик времени и шлейфы для записи тока катушки привода, тока главных контактов и падения напряжения на них.

Определение разрывной способности и дугогашения аппарата. Для выключателей, автоматов, контакторов и других аппаратов определение разрывной способности и дугогашения является основным видом испытаний, определяющим их работоспособность. При проведении испытаний аппараты устанавливают в нормальное рабочее положение, включают по схеме рис. 92 и все части, подлежащие заземлению в условиях эксплуатации, также заземляют или соединяют с минусом схемы. Если аппарат при нормальной работе последовательно соединен с таким же аппаратом, то испытание необходимо проводить при последовательном соединении аппаратов и одновременном их действии.

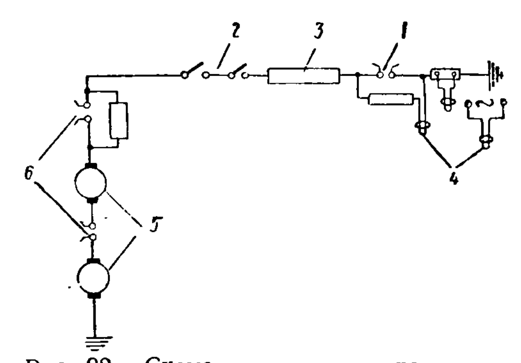


Рис. 92. Схема включения аппарата при определении его разрывной способности:
1—испытуемый автомат; 2—контакторы; 3—нагрузочное сопротивление; 4—шлейфы осциллографа; 5—питающий генератор; 6—защитный автомат

В процессе испытаний для оценки результатов записывают при помощи осциллографа изменения тока, проходящего через контакты испытуемого аппарата, напряжение на них и фотографируют картину гашения дуги.

Испытания аппаратов производят при максимальном напряжении силовой цепи, в которой они нормально работают, и нагрузку выбирают в зависимости от типа аппаратов и условий их работы.

Например, для контроллеров и контакторов, включенных в главную цепь, нагрузку принимают равной трехкратному длительному току тяговых двигателей при нормальных значениях индуктивности и сопротивления цепи.

Для автоматов, выключателей и линейных контакторов, защищающих главную цепь, нагрузку принимают равной трехкратному номинальному току их длительного режима при индуктивности цепи, равной наибольшей возможной в нормальной эксплуатации, или десятикратному значению этого тока при отсутствии индуктивности. Исходя из этого, в схему при испытаниях включают индуктивное или омическое сопротивление в виде индуктивных шунтов или ящиков пусковых сопротивлений.

Согласно ВТУ НКЭП 559—45 при указанных условиях контроллеры и контакторы должны выдержать и обеспечить 50 отключений,

а автоматы, выключатели и линейные контакторы — 5 отключений с интервалами 2 *мин*, чтобы ионизированные газы вышли из камеры.

При испытаниях автоматических выключателей проверяют также разрывную способность их при отключении тока короткого замыкания, скорость нарастания которого di/dt для каждого типа аппаратов устанавливают отдельно в зависимости от параметров цепи, которую он защищает.

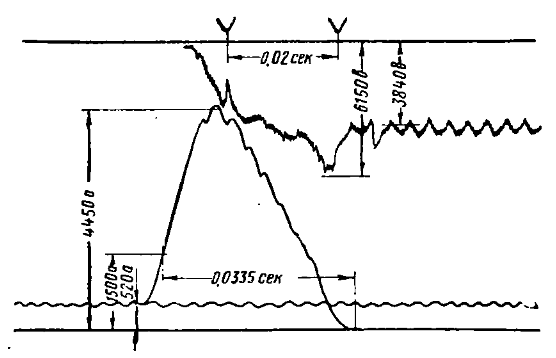


Рис. 93. Осциллограмма отключения тока короткого замыкания быстродействующим выключателем БВП-3

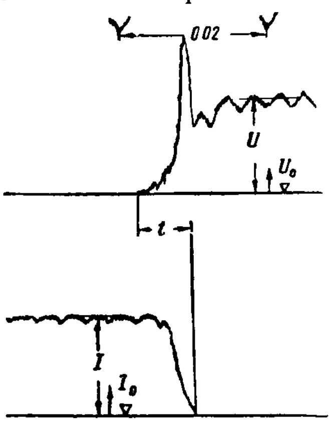


Рис. 94. Осциллограмма отключения тока контактором вспомогательных цепей КВЦ электровоза Н8:
$I = 1\,600$ *а*; $U = 3\,750$ *в*;
$t = 0{,}007$ *сек*

Например, для быстродействующих выключателей электровозов эту величину рекомендуется принимать равной $(0{,}5—1)\ 10^6$ *а/сек.*

На рис. 93 показана характерная осциллограмма отключения тока короткого замыкания автоматом БВП-3, а на рис. 94 контактора вспомогательных цепей электровоза — КВЦ с лабиринтно-щелевыми камерами.

Оценка разрывной способности и дугогашения аппарата производится по характеру и размеру выброса дуги, времени ее горения, устойчивости к перенапряжениям при выключении, наличию перебросов на корпус и другие детали, обгару контактов, дугогасительных рогов и камер, соответствию требованиям норм и стандартов.

Определение магнитных характеристик. Снятие кривых намагничивания тяговой системы. Для определения насыщения различных частей магнитопровода снимают кривые намагничивания при различной величине воздушного зазора между якорем и сердечником и при различном числе ампер-витков подъемной или удерживающей катушки.

Измерение значения потока в аппаратах постоянного тока производят при помощи флюксметра, который подключают к специальным шлейфам, представляющим собой один или несколько витков медной проволоки любого сечения, намотанных вокруг тех участков магнитопровода, поток в которых требуется определить. Число и расположение шлейфов зависят от конструкции магнитопровода

и должны быть такими, чтобы получить полную картину распределения потока вдоль магнитопровода.

Для определения величины потока производят включение и выключение заданного тока катушки испытуемого аппарата и отсчитывают показания флюксметра, которые в обоих случаях должны быть примерно одинаковы. Расчет потока производят по формуле

$$\Phi = \frac{kd}{s},$$

где k — постоянная флюксметра, приводимая в паспорте прибора;
d — отклонение стрелки прибора;
s — число витков шлейфа.

При определении потока в аппаратах переменного тока все сказанное относительно числа и расположения шлейфа остается в силе, но к шлейфу подключают не флюксметр, а электромагнитный вольтметр и измеряют напряжение на его зажимах. Поток вычисляют по формуле

$$\Phi = \frac{E}{4{,}44 fs} 10^8,$$

где f — частота сети;
s — число витков шлейфа;
E — напряжение на зажимах шлейфа.

Для определения индукции необходимо разделить величину потока на сечение магнитопровода в месте измерения.

Кривые намагничивания, представляющие зависимость индукции от намагничивающего тока, снимают обычно для нескольких значений ампер-витков, начиная от нуля и до насыщения при разных воздушных зазорах между якорем и сердечником.

Распределение магнитного поля в дугогасительной камере. Измерение потока при этом производят так же, как и при снятии кривых намагничивания. Для определения индукции в воздухе применяют специальные шлейфы (зонды), имеющие значительное число витков и сравнительно небольшие размеры для того, чтобы неравномерность поля практически не сказывалась и определялась действительная величина индукции в данной точке.

Вычисление индукции производят по формуле

$$B = \frac{k\alpha}{s_п},$$

где $s_п$ — постоянная шлейфа, представляющая произведение числа витков на площадь плоскости, а остальные обозначения такие же, как и выше.

Шлейфы для измерения индукции располагают обычно в камере непосредственно у мест разрыва контактов, начала, середины и конца дугогасительных рогов в нескольких точках по вертикальной и горизонтальной осям (рис. 95). Число точек измерения зависит

от размеров и конструкции камеры и может быть любым. При измерении индукции необходимо следить за тем, чтобы плоскость шлейфа была перпендикулярна направлению силовых линий потока.

Измерение распределения поля производят в пределах от 10 до 300% ампер-витков дугогасительной катушки, если насыщение не наступает раньше. На рис. 96 показаны кривые магнитной индукции в различных точках дугогасительной камеры быстродействующего выключателя БВП-3.

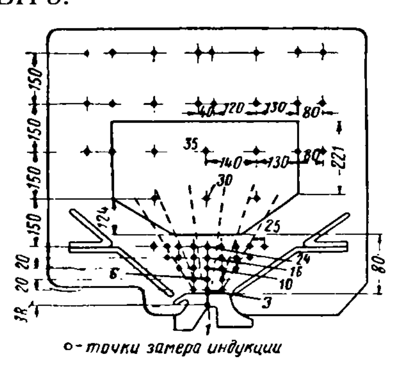


Рис. 95. Расположение шлейфов флюксметра при замере индукции в дугогасительной камере быстродействующего выключателя

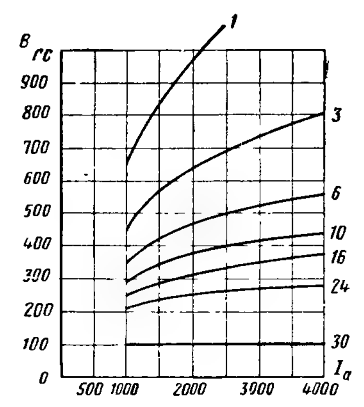


Рис. 96. Кривые индукции в различных точках дугогасительной камеры быстродействующего выключателя БВП-3

Испытания изоляции. Проверку электрической прочности изоляции производят на нагретом аппарате так же, как и при контрольных испытаниях. Аппарат считают выдержавшим испытание, если не произошло пробоя изоляции, перекрытия по поверхности, заметного ее нагревания или резкого снижения показаний вольтметра, включенного в цепь испытательного трансформатора.

Измерение сопротивления изоляции производят мегомметром на напряжение 500 *в* при полностью собранном аппарате между электрическими цепями и корпусом и между катушками в холодном состоянии до начала испытания; в нагретом состоянии после испытания на электрическую прочность; при испытании на влагостойкость.

Испытание изоляции на влагостойкость производят в гигростате при относительной влажности 95±3% и температуре окружающего воздуха 20±5°C в течение времени, указанного в технических условиях. Перед тем как поместить аппарат в гигростат, его необходимо выдержать в помещении, где будет производиться испытание, не менее 8 *ч*.

Объем гигростата должен превышать объем всех испытуемых аппаратов не менее чем в 2 раза. Гигростат герметически закрывают, а на дно его наливают пресную воду высотой не менее 40 *мм* при поверхности водяного зеркала больше на 20—30% площади го-

ризонтальной проекции всех испытуемых аппаратов. Нижняя часть аппарата должна находиться на расстоянии от поверхности воды около 200 *мм*.

Температуру в гигростате измеряют в нескольких внутренних точках и она должна быть везде одинаковой. Измерение влажности производят психрометром, установленным также внутри на высоте около 300 *мм* от поверхности воды. Допускается также измерение влажности производить методом двух термометров. Для получения более равномерной температуры и влажности в гигростате рекомендуется защищать его тепловой изоляций, а воздух внутри перемешивать.

Изоляция проводов для измерения сопротивления изоляции аппарата должна иметь сопротивление не менее 100 *мом*.

Аппарат помещают в гигростат обычно на одни сутки, после чего измеряют сопротивление изоляции, вынимают и производят проверку качества антикоррозийных покрытий. Аппарат считают выдержившим испытание, если сопротивление изоляции соответствует величинам, оговоренным в технических условиях, а на металлических деталях не обнаружено следов коррозии.

Испытания на износ и вибрацию. Испытания на износ имеют целью определение срока службы аппарата и выявление всех слабых узлов конструкции.

Различаются два вида испытаний: механические и электрические. При испытании на механический износ аппарат заставляют сработать определенное число раз, пока детали его не придут в негодность или разрушатся. При этом через определенные промежутки времени работы аппарата фиксируют все изменения, происходящие в нем — износ осей, втулок, подшипников, контактов, гибких соединений, осадку пружин и т. п.

При испытаниях на электрический износ аппарат работает так же, как и при проверке механического износа, с той лишь разницей, что его заставляют разрывать цепь при определенных заданных значениях тока, напряжения, индуктивности. В этом случае число включений и выключений обычно устанавливают меньше по сравнению с механическими испытаниями. В заключение фиксируют те же механические дефекты и устанавливают степень обгара контактов и других деталей.

Испытания на износ согласно ВТУ НКЭП 559—45 могут быть заменены соответствующими эксплуатационными испытаниями.

При испытании аппарата на вибрацию устанавливают его в рабочем положении на вибростенде, включают в электрическую схему и подвергают тряске, подобно той, какую он испытывает в условиях эксплуатации (см. гл. I). При этом проверяют влияние вибрации на регулировку аппарата, механическую прочность деталей, креплений и т. п.

Аппарат должен выдерживать указанные испытания без перегрева выше нормы и механических разрушений. Аппарат, снятый со стенда, должен четко включаться и выключаться.

ГЛАВА VI

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ СТАНЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И АППАРАТОВ

§ 29. Назначение испытательных станций

Испытательные станции подразделяются на станции для контрольных испытаний и для типовых испытаний.

Оборудование станции для контрольных испытаний должно обеспечивать выполнение ограниченного объема работ в максимально сжатые сроки.

Это обусловливается тем, что контрольные испытания являются этапом производства, через который проходит каждая выпускаемая машина и аппарат, и время, затраченное на эти операции, входит составной частью в трудоемкость изготовления машины или аппарата. При создании подобных станций максимальное внимание следует уделять сокращению времени испытаний (технологическое время) и времени подготовки (вспомогательное время).

Станции для проведения типовых испытаний должны обеспечивать возможность проведения испытаний в объемах, предусмотренных ГОСТами и техническими условиями. На таких станциях в связи с большим объемом испытаний время подготовки к ним составляет относительно небольшую величину. Поэтому для сокращения времени испытания необходимо особое внимание уделять отработке методики проведения их.

Компоновка, схемы, оборудование и мощности испытательных станций определяются их назначением. Исходя их этого при создании новых станций и переоборудовании старых чрезвычайно важно с самого начала четко определить цели и объемы испытаний, которые будут проводиться на них.

§ 30. Методы нагружения тяговых машин постоянного и переменного тока

Основные виды испытаний тяговых машин включают в себя испытания их под нагрузкой.

Нагрузка испытуемых машин может осуществляться методом возвратной работы или методом непосредственной нагрузки.

Выбор того или иного метода нагружения производится в зависимости от мощности испытуемых машин и целей испытаний.

Основными преимуществами метода возвратной работы являются малое потребление энергии во время испытаний, отсутствие необходимости в нагрузочном устройстве, возможность одновременного испытания двух машин на одном стенде, простота изменения нагрузки и режима работы машин, т. е. легкий перевод из двигательного режима в генераторный, малая мощность питающих генераторов.

Основными недостатками метода возвратной работы являются: сложность стенда, обусловленная необходимостью установки одновременно двух машин, необходимость наличия нескольких источников питания, неустойчивая работа в некоторых переходных и специальных режимах (глубокое ослабление поля возбуждения), большое время подготовки испытаний (сборки схемы и установки машин).

Основными преимуществами метода непосредственной нагрузки являются: наличие одного питающего генератора, простота стенда, малое время подготовки испытаний, высокая устойчивость работы схемы, возможность испытания машин любого рода тока и типа.

Основными недостатками метода непосредственной нагрузки являются: большое потребление энергии во время испытания, необходимость нагрузочного устройства, рассчитанного на полную мощность испытуемой машины, возможность испытания только одной машины, необходимость питающего генератора большой мощности.

Для машин мощностью до 50 *квт* обычно применяют метод непосредственной нагрузки, а для машин мощностью от 50 до 1 000 *квт* метод возвратной работы. Более мощные машины рекомендуется нагружать в режиме короткого замыкания.

Исследование работы машин в переходных режимах следует производить при нагрузке по методу непосредственного нагружения независимо от мощности испытуемой машины, так как применение метода возвратной работы в этом случае приводит к значительным допущениям, погрешности от которых не всегда удается оценить.

Рассмотрев достоинства и недостатки, а также области применения, остановимся подробнее на каждом из приведенных выше методов.

Метод возвратной работы. Как уже отмечалось, принцип метода возвратной работы заключается в том, что испытуемые машины нагружают друг на друга, причем одна из них работает двигателем, а другая — генератором. При этом машины должны иметь одинаковые или по крайней мере близкие характеристики и соединяться механически.

Для возможности вращения испытуемых машин к ним должен быть подведен вращающий момент, величина которого определится потерями.

В соответствии с этим схемы возвратной работы могут быть классифицированы по способу компенсации различных видов потерь.

Как известно, в электрической машине при ее работе возникают потери в стали, в меди, добавочные и механические.

Потери в стали, механические и частично добавочные (первая группа) создают при работе машины тормозной момент, который может быть компенсирован электрическим или механическим способом. Потери в меди частично добавочные (вторая группа) создают падение напряжения в схеме, которое может быть скомпенсировано только электрически, добавочной э. д. с.

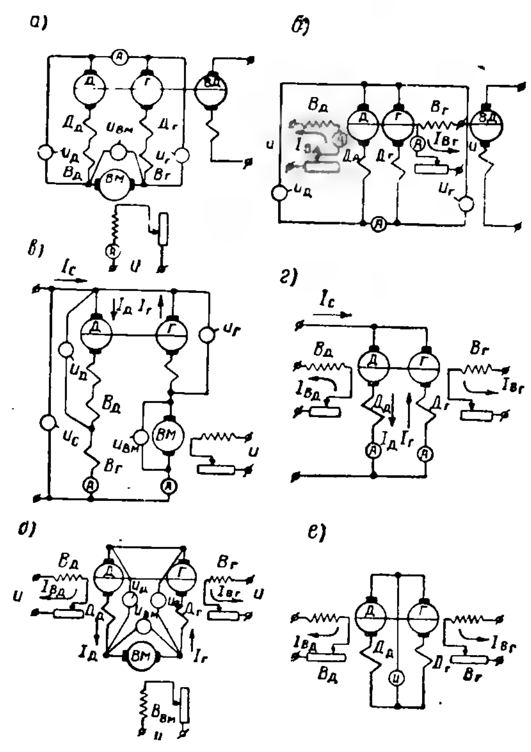


Рис. 97. Схемы нагружения по методу возвратной работы

В соответствии со сказанным первая группа потерь в испытуемых машинах может компенсироваться механической мощностью, подведенной к валу; электрической, подведенной к цепи якоря или к цепи возбуждения. Вторая группа потерь может быть компенсирована только электрической мощностью, подведенной к цепи якоря или возбуждения.

Значительное количество способов компенсации потерь приводит к возможности создания большого числа схем возвратной работы путем использования различных комбинаций этих способов. В соответствии со сказанным рассмотрим основные схемы возвратной работы:

схема, в которой первая группа потерь компенсируется механически, мощностью, подведенной к валу испытуемых машин, вторая — электрически, мощностью, подведенной к якорной цепи, изображена на рис. 97, *а*.

Согласно этой схеме две испытуемые машины *Д* и *Г* механически соединены друг с другом и со вспомогательным двигателем *ВД*, который покрывает потери первой группы. В качестве *ВД* может быть использована любая машина, обеспечивающая покрытие указанных потерь двух испытуемых машин во всех испытательных режимах и скорость вращения, потребную для проведения любого испытательного режима. В связи с необходимостью в большинстве

случаев широкого регулирования скорости для этих целей рекомендуются машины постоянного тока с последовательным или независимым возбуждением. Регулировка скорости в первом случае осуществляется изменением напряжения на зажимах *ВД*, во втором случае — изменением тока возбуждения *ВД*.

Электрически испытуемые машины соединяют последовательно друг с другом и с вольтодобавочной машиной *ВМ*. Для того чтобы одна из испытуемых машин работала в режиме двигателя, а другая в режиме генератора, э. д. с. их должны быть направлены встречно, так как при согласном направлении э. д. с. они будут работать в двигательном режиме за счет питания от *ВМ* и не будут нагружаться.

Рассмотрим баланс напряжений схемы:

$$U_{\text{г}} - U_{\text{д}} + U_{\text{вм}} = 0;$$
$$U_{\text{д}} = E_{\text{д}} + I\,(R_{\text{яд}} + R_{\text{дд}} + R_{\text{вд}});$$
$$U_{\text{г}} = E_{\text{г}} - I\,(R_{\text{яг}} + R_{\text{дг}} + R_{\text{вг}});$$
$$U_{\text{вм}} = (-E_{\text{г}} + E_{\text{д}}) + I\,(R_{\text{яг}} + R_{\text{дг}} + R_{\text{вг}} + R_{\text{яд}} + R_{\text{дд}} + R_{\text{вд}}). \quad (89)$$

Как следует из (89), напряжение вольтодобавочной машины $U_{\text{вм}}$ равно падению напряжения во всей схеме и разности э. д. с. испытуемых машин, которая имеет место за счет расхождения их характеристик. Ток нагрузки в схеме определяется напряжением $U_{\text{вм}}$ и разностью $E_{\text{г}} - E_{\text{д}}$, зависящей от скорости вращения испытуемых машин. Действительно,

$$I = \frac{U_{\text{вм}} + (E_{\text{г}} - E_{\text{д}})}{\sum R}. \quad (90)$$

Вследствие того, что различны характеристики испытуемых машин, регулирование нагрузки схемы осуществляется неоднозначно. Указанное обстоятельство усугубляется тем, что сопротивление схемы несколько изменяется от температуры и скорости вращения за счет добавочных потерь в меди. Эти два обстоятельства создают трудности в установлении испытательного режима и снижают устойчивость работы схемы.

Испытуемые машины с точки зрения потерь находятся полностью в одинаковых условиях, так как

$$I_{\text{яд}} = I_{\text{яг}}; \quad I_{\text{вд}} = I_{\text{вг}}; \quad n_{\text{д}} = n_{\text{г}}.$$

Схема позволяет получить любую из рабочих нагрузок.

Схема, в которой первая группа потерь компенсируется мощностью, подведенной механически к валу испытуемых машин, вторая — мощностью, подведенной электрически к цепи возбуждения, показана на рис. 97, *б*.

Компенсация потерь первой группы в этой схеме аналогична их компенсации в схеме *а* и механически машины связаны аналогично. Электрически машины включены встречно.

Схема описывается системой уравнений:

$$U_{\text{яг}} - U_{\text{яд}} = 0;$$

$$U_{\text{яд}} = E_{\text{д}} + I_{\text{я}} (R_{\text{яд}} + R_{\text{дд}});$$

$$U_{\text{яг}} = E_{\text{г}} - I_{\text{я}} (R_{\text{яг}} + R_{\text{дг}});$$

$$E_{\text{г}} - E_{\text{д}} = I_{\text{я}} (R_{\text{яг}} + R_{\text{дг}} + R_{\text{яд}} + R_{\text{дд}});$$

$$I_{\text{я}} = \frac{E_{\text{г}} - E_{\text{д}}}{R_{\text{яг}} + R_{\text{дг}} + R_{\text{яд}} + R_{\text{дд}}}. \quad (91)$$

Как следует из уравнения (91), ток нагрузки схемы зависит от разности э. д. с. испытуемых машин, которая определяется разностью потоков испытуемых машин, так как скорость вращения их одинакова

$$I_{\text{я}} = \frac{Cn\,(\Phi_{\text{г}} - \Phi_{\text{д}})}{R_{\text{яг}} + R_{\text{дг}} + R_{\text{яд}} + R_{\text{дд}}}. \quad (92)$$

Ввиду того что компенсация падения напряжения в схеме осуществляется за счет разности э. д. с., последняя чувствительна к изменению скорости вращения и так же, как схема *а*, обладает неоднозначностью при регулировании нагрузки.

Испытуемые машины имеют одинаковые потери механические и в меди якорных цепей; различные потери в стали, добавочные и в меди цепей возбуждения.

Следует особо отметить, что при номинальном режиме работы двигателя обмотки возбуждения генератора перегружены током, при номинальном режиме работы генератора обмотки возбуждения двигателя недогружены. В ряде случаев схема не позволяет осуществить нагрузку испытуемых машин во всем диапазоне рабочих токов из-за высоких перегревов обмотки возбуждения генератора, вызванных большими токами. Это обстоятельство особенно сильно сказывается при значительном насыщении испытуемых машин.

Схема, в которой первая и вторая группы потерь компенсируются мощностями, подведенными электрически к якорным цепям якорей испытуемых машин, показана на рис. 97, *в*. Компенсация потерь первой группы в этом случае осуществляется за счет отбора мощности от сети следующим образом. Машина, работающая в двигательном режиме, нормально включена на напряжение сети. При отключении генератора она будет работать в режиме холостого хода. Включение генератора фактически приводит к появлению источника э. д. с., работающего параллельно с сетью и соединенного механически с испытуемой машиной. Для возможности получения нагрузки э. д. с. двигателя и генератора должны быть соответствующим образом направлены так, как отмечалось выше (схема *а* и *б*).

Обмотка возбуждения генератора включена в цепь якоря двигателя для получения характеристики генератора, аналогичной характеристике машины с независимым возбуждением, что позволяет повысить устойчивость работы схемы, так как генератор с по-

следовательным возбуждением, как известно, не может обеспечить устойчивую работу в диапазоне рабочих нагрузок.

Баланс напряжений в схеме определяется системой уравнений:

$$U_С = E_Д + I_Д (R_{ЯД} + R_{ДД} + R_{ВД} + R_{ВГ}); \qquad (93)$$

$$U_С = E_Г - I_Г (R_{ЯГ} + R_{ДГ}) + U_{ВМ};$$

$$I_Д = I_Г + I_С,$$

решая которые совместно, получим

$$I_Г = \frac{(E_Г - E_Д) + U_{ВМ}}{\sum R} - I_С \frac{R_{ЯД} + R_{ДД} + R_{ВД} + R_{ВГ}}{\sum R}.$$

Как уже отмечалось, ток сети определяется потерями первой группы, т. е.

$$I_С = \frac{P_{1\,гр}}{U_С}.$$

Тогда, считая в первом приближении, что

$$\frac{R_{ЯД} + R_{ДД} + R_{ВД} + R_{ВГ}}{\sum R} = 1,$$

имеем

$$I_Г = \frac{(E_Г - E_Д) + U_{ВМ}}{\sum R} - \frac{P_{1\,гр}}{U_С}. \qquad (94)$$

Из уравнения (94) следует, что нагрузка схемы определяется разностью э. д. с. машин, напряжением $U_{ВМ}$ и величиной $I_С$.

Ввиду того что напряжение на зажимах двигателя поддерживается практически постоянным за счет напряжения сети, а ток сети $I_С$ устанавливается автоматически в зависимости от режима работы схемы, регулировка нагрузки однозначно зависит от $U_{ВМ}$, и схема имеет повышенную устойчивость. При этом испытуемые машины имеют одинаковые потери: механические, магнитные, добавочные, в меди обмоток возбуждения и различные потери в меди якорей и добавочных полюсов.

Следует, однако, отметить, что равенство магнитных и добавочных потерь машин справедливо для случая, когда $I_С$ значительно меньше $I_Г$, и реакция якоря в небольшой степени влияет на поле главных полюсов. Эти условия в ряде случаев нарушаются, в частности, подобное нарушение имеет место при работе машин в режиме глубокого ослабления поля.

С х е м а, в которой первая группа потерь компенсируется электрической мощностью, подведенной к якорным цепям испытуемых машин, а вторая — электрической мощностью, подведенной к цепи возбуждения, показана на рис. 97, *г*.

Компенсация потерь первой группы осуществляется за счет отбора мощности от сети, аналогично схеме *в*. Компенсация потерь второй группы осуществляется за счет разности э. д. с. испытуемых машин аналогично схеме *б*:

$$U_С = E_Д + I_Д (R_{ЯД} + R_{ДД}); \quad (95)$$

$$U_С = E_Г - I_Г (R_{ЯГ} + R_{ДГ});$$

$$I_Д = I_С + I_Г;$$

$$I_Г = \frac{E_Г - E_Д}{R_{ЯГ} + R_{ДГ} + R_{ЯД} + R_{ДД}} - I_С \frac{(R_{ЯД} + R_{ДД})}{R_{ЯГ} + R_{ДГ} + R_{ЯД} + R_{ДД}},$$

считая, что

$$\frac{R_{ЯД} + R_{ДД}}{R_{ЯГ} + R_{ДГ} + R_{ЯД} + R_{ДД}} = \frac{1}{2}, \text{ а } I_С = \frac{P_{1\,гр}}{U_С},$$

окончательно получим

$$I_Г = \frac{E_Г - E_Д}{R_{ЯГ} + R_{ДГ} + R_{ЯД} + R_{ДД}} - \frac{P_{1\,гр}}{2U_С}. \quad (96)$$

Из уравнения (96) следует, что нагрузка схемы определяется разностью э. д. с. испытуемых машин и величиной $I_С$. Ввиду того что напряжение на зажимах схемы поддерживается практически постоянным за счет напряжения сети, а ток $I_С$ устанавливается автоматически в зависимости от режима работы схемы, регулировка нагрузки однозначно ведется изменением разности э. д. с. посредством регулировки тока возбуждения испытуемых машин. Схема при этом имеет повышенную устойчивость.

В испытуемых машинах одинаковыми потерями являются только механические, все остальные виды потерь различны. При номинальной нагрузке двигателя нагрузка возбуждения генератора выше, т. е. область нагружения схемы ограничена тепловой мощностью обмотки возбуждения генератора.

Схема, в которой первая группа потерь компенсируется электрической мощностью, подведенной к системе возбуждения испытуемых машин, а вторая — электрической мощностью, подведенной к якорной цепи, показана на рис. 97, *д*.

Момент, компенсирующий потери обеих машин, в рассматриваемой схеме может быть получен за счет разности их моментов

$$M_{1\,гр} = M_Д - M_Г = C_М \Phi_Д I_Д - C_М \Phi_Г I_Г,$$

так как

$$I_Д = I_Г = I_Н;$$

$$M_{1\,гр} = C_М I_М (\Phi_Д - \Phi_Г);$$

$$\Phi_Д = \frac{E_Д}{C_Е n}; \quad \Phi_Г = \frac{E_Г}{C_Е n};$$

$$P_{1\,гр} = \frac{C_М}{C_Е} I_Н (E_Д - E_Г).$$

С другой стороны:

$$U_{\text{яг}} - U_{\text{яд}} + U_{\text{вм}} = 0;$$
$$U_{\text{яг}} = E_{\text{г}} - I_{\text{н}} (R_{\text{яг}} + R_{\text{дг}}); \quad (97)$$
$$U_{\text{яд}} = E_{\text{д}} + I_{\text{н}} (R_{\text{яд}} + R_{\text{дд}});$$
$$E_{\text{г}} - E_{\text{д}} - I_{\text{н}} (R_{\text{яг}} + R_{\text{дг}} + R_{\text{яд}} + R_{\text{дд}}) + U_{\text{вм}} = 0.$$

Решив уравнения совместно, получим

$$I_{\text{н}} = \frac{1}{R_{\text{яг}} + R_{\text{дг}} + R_{\text{яд}} + R_{\text{дд}}} \times$$
$$\times \left(\frac{U_{\text{вм}}}{2} \pm \sqrt{\frac{U_{\text{вм}}^2}{4} - \frac{C_{\text{Е}}}{C_{\text{М}}} (R_{\text{яг}} + R_{\text{дг}} + R_{\text{яд}} + R_{\text{дд}}) P_{1\,\text{гр}}} \right). \quad (98)$$

Из уравнения (98) следует, что нагрузка схемы определяется напряжением вольтодобавочной машины и величиной потерь $P_{1\,\text{гр}}$, которые зависят от режима работы, и нагрузка однозначно регулируется изменением $U_{\text{вм}}$. Следует отметить, что нагрузка не прямо пропорциональна $U_{\text{вм}}$.

Испытуемые машины имеют одинаковые механические потери, одинаковые потери в меди якорных цепей и частично одинаковые дополнительные потери; магнитные потери, потери в меди возбуждения и частично дополнительные потери машин различны.

Ввиду отсутствия стабилизирующего напряжения в схеме ее работа неустойчива. Схема позволяет получить нагрузку испытуемых машин только в ограниченном диапазоне.

С х е м а, в которой первая и вторая группы потерь компенсируются мощностью, подведенной электрически к их возбуждениям, изображена на рис. 97, *е*.

Для вращения испытуемых машин необходим момент, компенсирующий потери первой группы обеих машин, что может быть осуществлено за счет разности моментов испытуемых машин, достаточной для покрытия потерь обеих машин. Ввиду отсутствия тока в цепи якорей при неподвижных машинах они в этом случае не создают и электромеханических моментов. Следовательно, для возможности нагрузки испытуемых машин они должны быть приведены во вращение.

При вращении испытуемых машин имеем:

$$M_{1\,\text{гр}} = M_{\text{д}} - M_{\text{г}} = C_{\text{М}} I_{\text{н}} (\Phi_{\text{д}} - \Phi_{\text{г}}); \quad (99)$$
$$U_{\text{яг}} - U_{\text{яд}} = 0;$$
$$U_{\text{яг}} = E_{\text{г}} - I_{\text{н}} (R_{\text{яг}} + R_{\text{дг}});$$
$$U_{\text{яд}} = E_{\text{д}} + I_{\text{н}} (R_{\text{яд}} + R_{\text{дд}}).$$

Решив совместно уравнения, получим

$$I_{\text{н}} = \sqrt{\frac{R_{\text{яг}} + R_{\text{дг}} + R_{\text{яд}} + R_{\text{дд}}}{P_{1\,\text{гр}}} \cdot \frac{C_{\text{М}}}{C_{\text{Е}}}}. \quad (100)$$

Из уравнения (100) следует, что нагрузка схемы определяется величиной потерь первой группы, зависящих в свою очередь от режима испытуемых машин и разности их э. д. с. В соответствии с этим схема работает неустойчиво. Испытуемые машины имеют одинаковые механические потери, одинаковые потери в меди якорных цепей и частично одинаковые дополнительные потери; магнитные потери, потери в меди возбуждения и частично дополнительные потери машин различны.

Схема позволяет получить нагрузку испытуемых машин только в ограниченных пределах и обладает чрезвычайно низкой устойчивостью в работе.

Рассмотренные схемы, поясняющие принцип нагружения методом возвратной работы, не являются единственно возможными, так как, используя несколько способов подведения мощности для покрытия одного вида потерь, можно получить значительное количество их модификаций, обладающих самыми разнообразными свойствами.

Наибольшее распространение при испытаниях тяговых двигателей с последовательным возбуждением получили схемы *а* и *в*, которые могут быть рекомендованы для заводов и депо. Схемы испытания машин с назависимым, параллельным и смешанным возбуждением строятся аналогично приведенным.

Метод непосредственной нагрузки. Как уже отмечалось выше, сущность метода заключается в том, что испытуемая машина нагружается тем или иным способом до номинальной мощности, причем эта мощность подводится к испытуемой машине и гасится в нагрузочном устройстве. Обычно при испытаниях машин в стационарных режимах способ нагрузки не сказывается на результатах испытаний, если обеспечивается интенсивный отвод тепла от нагрузочного устройства.

При испытаниях машин в неустановившихся режимах способ нагрузки должен быть выбран таким образом, чтобы нагрузка в испытательном режиме была аналогична нагрузке эксплуатационной. Сказанное может быть пояснено следующим примером: мощность, потребляемая вентилятором, пропорциональна n^3, следовательно, при испытании двигателя вентилятора в неустановившихся режимах необходимо, чтобы мощность нагружающего устройства была также пропорциональна n^3.

Существуют следующие основные методы непосредственного нагружения: электрический; электромагнитного тормоза; механический и гидравлический.

Остановимся на каждом из указанных способов.

Электрические методы непосредственного нагружения. Электрические машины, испытываемые в режиме генератора, обычно нагружаются либо на сеть, либо на нагрузочный реостат. Нагрузка на сеть позволяет полезно использовать выделяемую испытуемой машиной энергию и с этой точки зрения предпочтительна. Одновременно с указанным достоинством такой способ нагрузки не

позволяет задать машине режимы, отличные по напряжению от напряжения сети, кроме того, необходима сеть, имеющая параметры, соответствующие параметрам испытуемой машины.

Работа на нагрузочный реостат $P_н$ (рис. 98) при соответствующем выборе его параметров позволяет проверить работу испытуемых машин во всех необходимых режимах.

Следует, однако, отметить, что при большой мощности испытуемых машин нагрузочные реостаты получаются громоздкими и конструктивное выполнение их сложным.

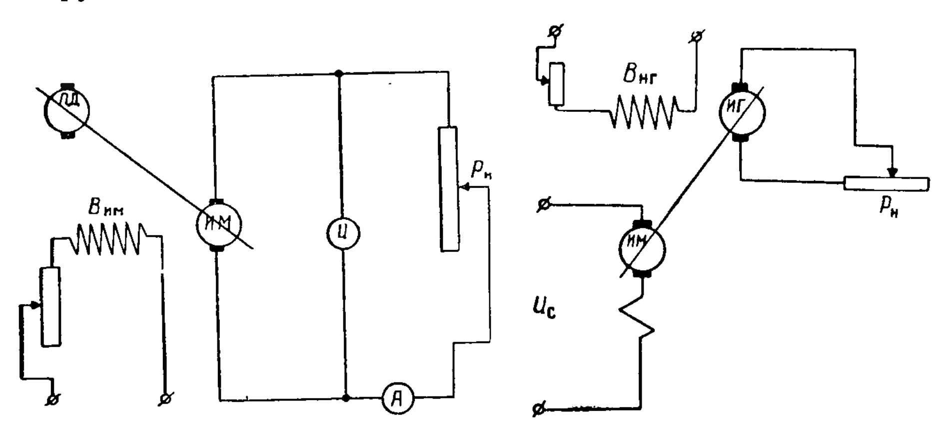


Рис. 98. Схема нагружения генератора на нагрузочный реостат

Рис. 99. Схема нагружения двигателя при помощи нагрузочного генератора

Электрические машины, испытываемые в режиме двигателя, для использования рассматриваемого способа нагрузки механически соединяют с генератором, который нагружается на реостат. Как правило, схема имеет двойную регулировку: грубую — в цепи якоря нагрузочного генератора и тонкую — в цепи его возбуждения.

На рис. 99 представлена схема нагрузки рассмотренным методом.

Нагрузочный генератор обычно выполняется с независимым или параллельным возбуждением. Независимое возбуждение обеспечивает хорошую стабильность регулировки в широком диапазоне нагрузок и скорости вращения испытуемой машины, но требует дополнительного источника питания цепи возбуждения. Параллельное возбуждение, которое проще независимого (отсутствует необходимость в дополнительном источнике питания), не обеспечивает достаточной стабильности регулирования и ограничивает диапазон токов и скорости вращения испытуемой машины. Кроме того, выбор параметров нагрузочного генератора и нагрузочного реостата при параллельном возбуждении генератора должен производиться, исходя из условий самовозбуждения нагрузочного генератора.

Для электрических машин, испытываемых в генераторном и двигательном режимах, схема испытаний должна позволять легко

менять режим работы испытуемой машины с генераторного на двигательный и обратно.

Подобным требованиям удовлетворяет схема, приведенная на рис. 100.

Испытуемая машина *ИМ* с независимым возбуждением механически связана с нагрузочным генератором *НГ*, также с независимым возбуждением. Якорь нагрузочного генератора электрически соединен с якорем питающего генератора *ПГ*, имеющим независимое возбуждение $В_{пг}$, допускающее изменение полярности. Генератор *ПГ* механически соединен с двигателем переменного тока $М_{пг}$.

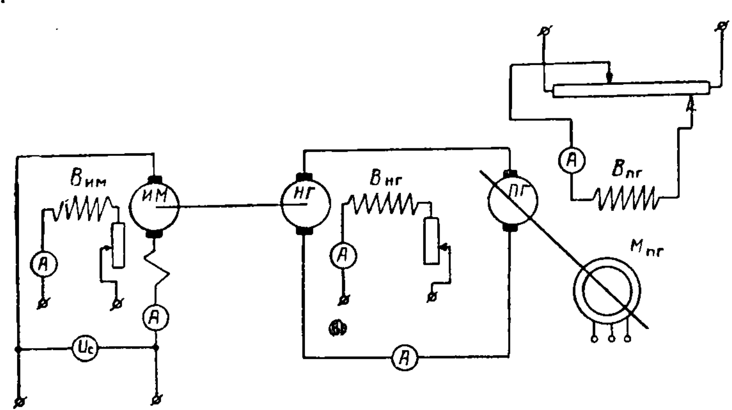


Рис. 100. Схема нагружения машин в двигательном и генераторном режимах

Рассмотрим работу схемы. Допустим, испытуемая машина работает в режиме двигателя на холостом ходу. При этом она покрывает собственные потери холостого хода и потери холостого хода нагрузочного генератора. Для того чтобы в цепи якорей нагрузочного генератора *НГ* и питающего генератора *ПГ* не было тока, их противо-э. д. с. должны быть равны по величине и направлены встречно. При этом питающий генератор *ПГ* и двигатель $М_{пг}$ также работают в режиме холостого хода.

При уменьшении возбуждения питающего генератора *ПГ* он переходит в двигательный режим и в цепи якорей нагрузочного генератора *НГ* и питающего генератора *ПГ* появляется ток нагрузки. Поскольку испытуемая машина *ИМ* соединена механически с нагрузочным генератором *НГ*, а последний нагружается, испытуемая машина *ИМ* работает в этом случае в режиме двигателя. Двигатель $М_{пг}$ переходит в генераторный режим (асинхронный генератор).

При увеличении возбуждения питающего генератора *ПГ* на его зажимах повышается напряжение и он переходит в двигательный режим, увеличивается скорость вращения испытуемой машины *ИМ* и она переходит в режим генератора. Двигатель $М_{пг}$ работает в этом

случае в двигательном режиме. Изменение направления тока возбуждения питающего генератора *ПГ* необходимо для возможности получения тока нагрузки его при работе испытуемой машины в двигательном режиме большим, чем

$$I_{нг} = \frac{E_{нг}}{R_{нг} + R_{пг}}.$$

Особенно удобна рассмотренная схема для испытаний асинхронных машин.

Метод электромагнитного тормоза. Как известно, при пересечении сплошным проводником электромагнитного поля в проводнике наводятся вихревые токи, создающие тормозной эффект.

Для получения такого тормозного эффекта испытуемая машина механически соединяется со сплошным стальным диском, расположенным в воздушном зазоре электромагнита. При вращении диска в нем создаются потери, определяющие нагрузку испытуемой машины, регулировка которой осуществляется изменением н. с. электромагнита.

Указанный метод применяется для нагружения машин малой мощности.

Механические методы нагружения. Для механического нагружения применяют все виды механических тормозов: ленточные, колодочные и т. д.

Действие их основано на использовании трения двух тел. Метод применяется при испытании машин малой мощности или при специальных видах испытаний. Нагрузочное устройство получается громоздким, устойчивость нагрузки — низкой.

Гидравлические методы нагружения. Принципом гидравлических методов нагружения является использование внутреннего трения жидкости. Если в наполненный жидкостью сосуд ввести крыльчатку и соединить ее с испытуемой машиной, то за счет трения жидкости на валу крыльчатки возникает нагрузочный момент. Указанный метод нагружения применяется при испытаниях высокоскоростных машин небольшой мощности. Нагрузочное устройство громоздко и ненадежно ввиду необходимости охлаждения жидкости и герметизированной системы маслопроводов.

Из рассмотренных методов непосредственного нагружения наибольшее распространения получили электрические, что объясняется как их простотой и надежностью при устойчивости нагрузки и точности, так и возможностью использования выпускаемого промышленностью оборудования.

Все остальные методы непосредственного нагружения, имея ряд недостатков по сравнению с электрическими, требуют проектирования и изготовления нестандартного оборудования, что в ряде случаев вызывает значительные затруднения.

§ 31. Принципиальные схемы испытательных станций электрических машин

Схемы стендов испытания тяговых двигателей. Как отмечалось выше, для нагружения тяговых двигателей наибольшее распространение получил метод возвратной работы по схемам рис. 97, *а* и *в*, применительно к которым и ведется рассмотрение схем стендов.

На рис. 101 представлена схема стенда для проведения контрольных и типовых испытаний в соответствии с ГОСТ 2582—50 в предположении, что тепловые испытания проводятся по схеме рис. 97, *а*, а снятие характеристик и коммутационные испытания — по схеме рис. 97, *в*.

Рассмотрим приведенную схему применительно к проведению контрольных испытаний.

Питание стенда. Питание стенда осуществляется тремя генераторами: линейным генератором *ЛГ*; вольтодобавочной машиной *ВМ* и генератором вспомогательного двигателя *ГВД*.

Все эти генераторы имеют независимое возбуждение от индивидуальных возбудителей соответственно: возбудителя линейного генератора $В_{лг}$, возбудителя вольтодобавочной машины $В_{вм}$ и возбудителя генератора вспомогательного двигателя $В_{гвд}$, которые в свою очередь возбуждаются от общего подвозбудителя *ПВ*.

В цепь возбуждения возбудителей включены регулировочные реостаты P_1, P_2, P_3, установленные в стенде и служащие для плавного регулирования напряжения генераторов. Один провод всех генераторов заземлен, во втором установлена однополюсная коммутационная аппаратура.

В цепи линейного генератора *ЛГ* установлена быстродействующая токовая защита *КЛ*.

На зажимы линейного генератора *ЛГ* включен вольтметр, смонтированный на стенде.

Силовая цепь испытуемых машин. а) Силовая цепь испытуемых машин при использовании метода нагружения по схеме рис. 97, *а* следующая.

Испытуемые машины $Я_1'$ и $Я_2'$ включены на клеммные колонки *I* и *II* соответственно.

Проследим цепь, начиная с машины $Я_1'$, которая включена на клеммы $Я_1$—$ЯЯ_1$ от клеммы $ЯЯ_1$, через шунты амперметров A_1 и A_2 цепь идет в клемме *1* переключателя двигателей *ПМ* (*ПМ* находится в положении *1*), затем от клеммы *2 ПМ* к клемме *1* реверсора *Р* (при *Р*, находящемся в положении *1*). Далее цепь идет от клеммы *2* реверсора *Р* к клеммам $КК_2$ через обмотку возбуждения 2-й машины на клеммы $К_2$, $КК_1$, обмотку возбуждения $В_1$ 1-й машины, шунт $А_3$, клеммы *5*, *6* реверсора на заземленный обратный провод, с провода через якорь *ВМ*, токовую защиту *КВМ*, контакторы *Б* или $В_x$, клеммы *5—6—3 ПМ* переключателя двигателей *ПМ*, шунты амперметров $А_4$, $А_5$, клеммы $ЯЯ_2$, якорь $Я_2'$, исходную

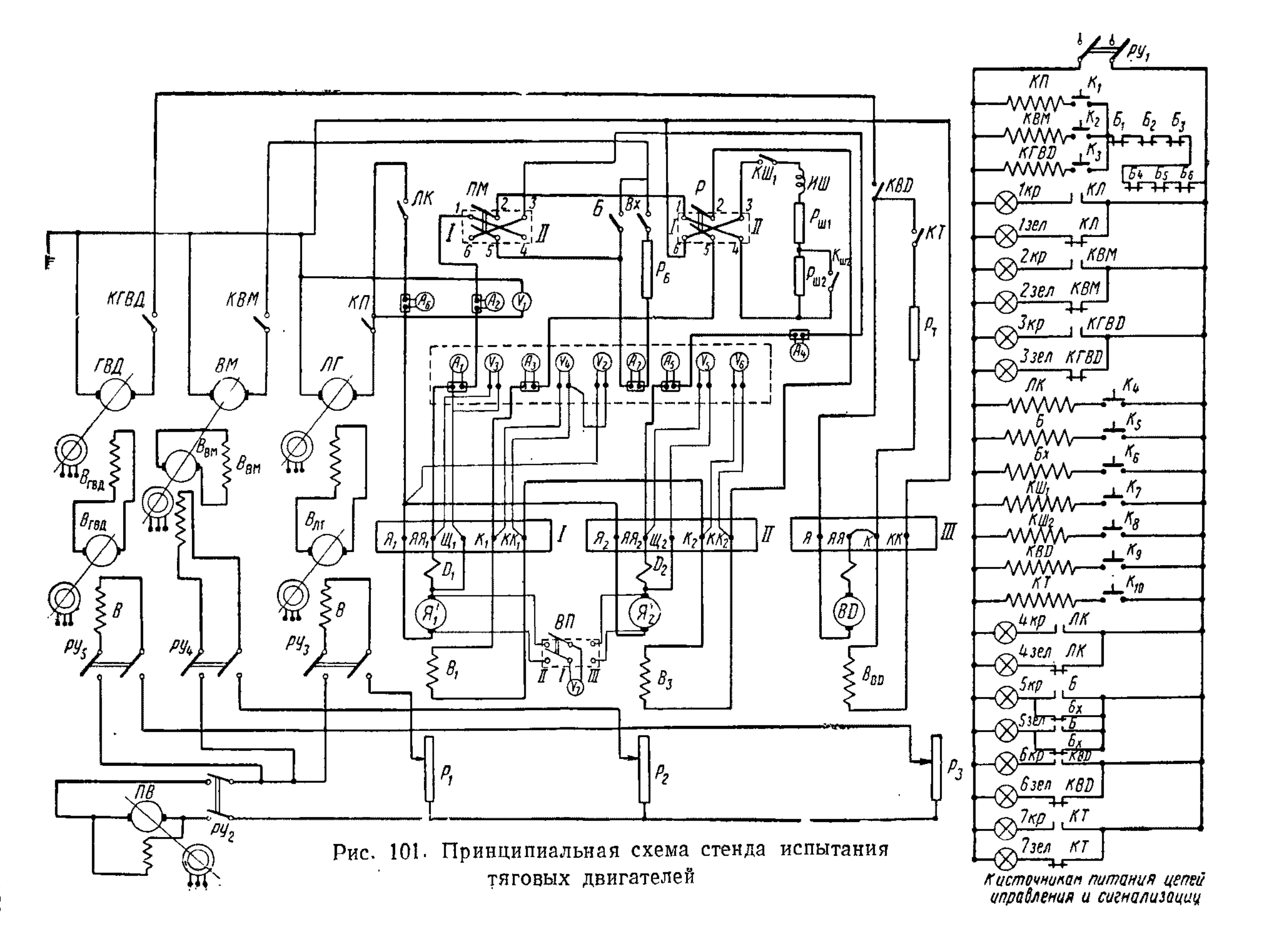


Рис. 101. Принципиальная схема стенда испытания тяговых двигателей

клемму $Я_1$. В результате имеется последовательное соединение двух испытуемых машин и вольтодобавочного генератора.

Параллельно клеммам *3*, *4* реверсора *Р* включена цепь шунтировки возбуждения, осуществляющая одновременное шунтирование обмоток возбуждения обеих испытуемых машин. В этой цепи установлены: индуктивный шунт *ИШ*, сопротивления шунтировки $Р_{ш1}$, $Р_{ш2}$ и контакторы шунтировки $КШ_1$, $КШ_2$.

б) Силовая цепь испытуемых машин при использовании метода нагружения по схеме рис. 97, *в*.

В этом случае удобно проследить цепь от заземленного обратного провода.

От заземленного обратного провода ток через генератор *ЛГ*, токовую защиту *КЛ*, линейный контактор *ЛК*, шунт амперметра $А_6$ приходит к клемме $Я_1$, где цепь разветвляется на две ветви. Одна ветвь идет через клемму $Я_1$, якорь $Я_1$, клемму $ЯЯ_1$, шунт $А_1$, шунт $А_2$, клеммы *1*, *2* переключателя ПМ (I положение *ПМ*), клеммы *1*, *2* реверсора *Р* (I положение Р), клеммы $КК_2$, обмотка $В_2$, клеммы $К_2$, $КК_1$, $К_1$, шунт $А_3$, клеммы *5*, *6* реверсора *Р* на обратный заземленный провод. В этой ветви последовательно соединены: якорь $Я'_1$ и обмотки возбуждения $В_1$ и $В_2$. Другая ветвь тока идет через клеммы $Я_1$, $Я_2$, якорь $Я_2$, клемму $ЯЯ_2$, шунты $А_5$, $А_4$, клеммы *3*, *6*, *5* переключателя *ПМ*, контактор *Б* или шунт $А_7$, сопротивление *РБ*, контактор $В_x$, защиту *КВМ*, якорь *ВМ*, обратный заземленный провод. В этой ветви последовательно соединены: якорь $Я'_2$ и вольтодобавочный генератор. При этом положение переключателей машина $Я'_1$ работает двигателем, $Я'_2$ — генератором.

При переключении реверсора *Р* в положение II меняется полярность возбуждения испытуемых машин, что приводит к изменению направления вращения их.

Переключатель двигателей *ПМ* служит для изменения режима работы машины. При установке переключателя *ПМ* в положение II цепь от заземленного провода до клеммы $Я_1$ сохраняется.

От клеммы $Я_1$ цепь разветвляется на две ветви. Одна идет через двигатель клеммы $Я'_1$, клеммы $ЯЯ_1$, шунт $А_1$, шунт $А_2$, клеммы *1*, *4*, *5* переключателя *ПМ* (II положение контактора *Б*), шунт $А_7$, сопротивление $Р_Б$, контактор $В_x$, защиту *КВМ*, якорь вольтодобавочной машины *ВМ*, обратный заземленный провод. В этой ветви последовательно соединены якорь 1-й машины и вольтодобавочный генератор. Другая ветвь идет через клеммы $Я_1$, клеммы $Я_2$, якорь $Я'_2$, клеммы $ЯЯ_2$, шунт $А_5$, шунт $А_н$, контакты *3*, *2* переключателя реверсора *ПМ*, контакты *1*, *2* реверсора *Р* (I положение), контакты $КК_2$, обмотка $В_2$, контакты $К_2$, $КК_1$, обмотка $В_1$, контакт $К_2$, шунт $А_3$, контакты *5*, *6* реверсора *Р*, обратный заземленный провод. В этой ветви последовательно соединены якорь $Я'_2$ машины и обмотки возбуждения обеих машин, т. е. при II положении

переключателя *ПМ* 1-я машина работает в режиме генератора, 2-я —в режиме двигателя.

Силовая цепь вспомогательного двигателя. Вспомогательный двигатель включен на III клеммную колонку. В качестве вольтодобавочной машины *ВД* применена машина с последовательным возбуждением.

От обратного заземленного провода цепь идет через якорь генератора *ГВД*, контакторы *КГВД* и *КВД* на клемму *Я*, якорь машины *ВД*, клеммы *ЯЯ*, *К*, обмотку возбуждения $B_{вд}$, клемму *К* и на обратный заземленный провод. Кроме отмеченной цепи, существует еще цепь, идущая от контактора *КВД* через контактор *КТ*, сопротивление $P_{Т}$ на клемму *К*.

При включении первой цепи машина *ВД* работает в двигательном режиме. При включении контактора *КТ* машина *ВД* переводится в режим электрического торможения. Сопротивление $P_{Т}$ служит для ограничения тока возбуждения и одновременно является нагрузочным сопротивлением при электрическом торможении.

Измерительные цепи стенда. Измерительные цепи стенда состоят из двух частей: цепей щитовых приборов и цепей прецизионных приборов.

Щитовые приборы служат для измерений с небольшой точностью. Прецизионные приборы служат для измерений с высокой степенью точности. На стенде установлены следующие щитовые приборы: V_1 — вольтметр для измерения напряжения на линейном генераторе *ЛГ* до включения контактора *ЛК*; A_6, A_2, A_4 — амперметры для измерения токов соответственно генератора *ЛГ*, якоря 1-й машины, якоря 2-й машины.

На стенде установлены следующие прецизионные приборы: A_1, A_5, A_3 — амперметры для измерения токов соответственно якоря 1-й машины, якоря 2-й машины, возбуждения обеих машин; A_7 — амперметр для измерения тока при определении сопротивления элементов машин в холодном состоянии и сопротивления якорей в конце тепловых испытаний; V_3, V_4 — вольтметры для измерения падения напряжения в добавочных и главных полюсах 1-й машины; V_5, V_6 — вольтметры для измерения падения напряжения в добавочных и главных полюсах 2-й машины; V_2 — вольтметр для измерения напряжения двигателя; V_7 — вольтметр для измерения падения напряжения в якоре.

Этот вольтметр при помощи вольтметрового переключателя *ВП* включается либо на одну, либо на другую машину. Переключатель *ВП* должен иметь три положения. В нейтральном I положении *ВП* должен находиться во время вращения машин.

Включение *ВП* в положения II и III необходимо производить только после полной остановки испытуемых машин.

Цепи управления и сигнализации стенда. Цепи управления стендом выполняются на низком напряжении с питанием от отдельного генератора. Для обеспечения безопасности работы включение генераторов, питающих стенд, производится через кон-

такты блокировок клеммных колонок, стола стенда и распределительного щита ($Б_1$, $Б_2$, $Б_3$, $Б_4$, $Б_5$, $Б_6$). Подача питания на катушки контакторов осуществляется кнопками $К_1$ и $К_2$, $К_3$,..., $К_{20}$. При включении этих кнопок подается питание на катушки контакторов. Стенд оборудован световой сигнализацией. Питание зеленых ламп осуществляется через нормально замкнутые блокировки *КЛ*, *КВМ*, *КГВД*. При включении контакторов цепь зеленых ламп (*1 зел*, *2 зел*, *3 зел*) разрывается нормально замкнутыми блок-контактами, а цепь красных ламп замыкается нормально разомкнутыми блокконтактами.

Аналогично построена система управления и сигнализации контакторов *ЛК*, *КВД*, *КТ*.

Система управления контакторов *Б* и $В_x$ имеет общую сигнализацию. Контакторы $КШ_1$ и $КШ_2$ сигнализации не имеют.

Порядок проведения испытаний на стенде. Устанавливают на стенд испытуемые машины и соединяют их механически друг с другом и с вольтодобавочной машиной *ВД*;

подключают испытуемые машины к клеммным колонкам;

устанавливают прецизионные приборы, проверяют пределы их включений и установку стрелок на нуль;

проверяют положение переключателя *ПМ* и реверсора *Р*. Оно должно быть таким, чтобы при испытании по схеме *в* рис. 97 испытуемые машины вращались в ту же сторону, что и машины *ВД* при испытании по схеме *а*;

отмечают положение якорей, в котором производится замер сопротивления;

включают приводы питающих генераторов, возбудителей, подвозбудителя;

включают питание цепей управления и сигнализации $РУ_1$, $РУ_2$, $РУ_4$;

проверяют положение реостатов возбуждения $Р_1$, $Р_2$, $Р_3$. Реостаты должны быть полностью введены;

включают кнопку $К_2$, а затем $К_6$ и проверяют правильность включения приборов, после чего производят замер сопротивления;

отключив кнопку $К_6$, включают кнопки $К_3$ и $К_9$, после чего машины начинают вращаться;

перед включением кнопки $К_9$ необходимо еще раз проверить положение переключателя *ВП*, который должен находиться в положении I;

после разгона машин включают кнопку $К_5$ и, регулируя одновременно сопротивления $Р_2$ и $Р_3$, устанавливают испытательный режим по показаниям амперметров $А_1$, $А_5$ и вольтметра V_2;

в конце проведения теплового режима включают кнопку $К_{10}$, что приводит к резкой остановке машин, выключают кнопку $К_5$, включают $К_6$ и замеряют сопротивление якорей.

Отключают кнопки $К_2$, $К_3$, $К_6$, $К_9$, $К_{10}$ и прецизионные приборы V_3, V_4, V_5, V_6, после чего включают кнопки $К_1$, $К_2$, $К_5$, $К_4$. Перед включением кнопки $К_4$ по вольтметру V_1 необходимо проверить, чтобы напряжение генератора *ЛГ* было минимальным. По ам-

перметру машины, работающей двигателем, и вольтметру V_2 устанавливают номинальную точку. Снимают отсчет и выключают схему. При этом первой выключают кнопку K_4 и только после полной остановки кнопку K_5. Изменяют направление вращения и замер повторяют. Аналогично производятся измерения и на другой машине.

После проверки номинальной скорости останавливают испытуемые машины, отключают прецизионные приборы A_1, A_3, A_5 и отсоединяют муфту машины *ВД*, после чего проводят коммутационные испытания.

Измерения токов ведут по щитовым приборам, напряжения — по вольтметру V_2.

При проведении типовых испытаний схема рис. 101 должна позволять определять потери и зону наилучшей коммутации.

Определение потерь. При определении потерь на стенд устанавливается одна машина, которая подключается нормально своими выводными концами к клеммной колонке.

Рассмотрим схему применительно к установке машины $Я_1'$.

а) Снятие потерь холостого хода при последовательном возбуждении. Питание испытуемой машины осуществляется от генератора *ЛГ*.

Силовая цепь в этом случае идет: от обратного заземленного провода через генератор *ЛГ*, контакторы *КЛ*, *ЛК*, шунт A_6, клеммы $Я_1$, якорь $Я_1$, клеммы $ЯЯ_2$, $КК_1$ (между клеммами $ЯЯ_1$ и $КК_1$ устанавливается временная перемычка), обмотка B_1, клемма K_1, шунт A_3, клеммы *5*, *6* реверсора *Р*, обратный заземленный провод. Переключатели должны быть установлены в положении *I—ПМ* и *I—Р*. Для измерения тока на время снятия потерь включается шунт амперметра с прецизионным прибором последовательно с шунтом A_6. Измерение напряжения осуществляется вольтметром V_2.

б) Снятие потерь холостого хода при независимом возбуждении. Питание якорной цепи осуществляется от генератора *ЛГ*, питание цепи возбуждения — от машины *ВМ*. Цепь якоря та же, что и при испытаниях по пункту *а*.

Цепь возбуждения проходит от обратного заземленного провода, через якорь *ВМ*, контакторы *КВМ*, *Б* или $Б_x$, клеммы переключателя *ПМ 5—4—1* (II положение *ПМ*), шунт A_2, шунт A_1, клеммы $ЯЯ_1$, $КК_1$, обмотку B_1, клемму K_1, шунт A_3, клеммы *5*, *6* реверсора *Р* (I положение), обратный заземленный провод.

Измерительные приборы те же, что и при испытаниях по пункту *а*, с добавлением шунта A_3.

При проведении испытаний следует включать якорную цепь только после включения цепи возбуждения и отключать цепь возбуждения только после выключения якорной цепи.

Определение зоны наилучшей коммутации. Как уже отмечалось в § 24, определение зоны наилучшей коммутации осуществляется методом подпитки.

Для проведения указанных испытаний стенд должен быть оборудован дополнительным генератором подпитки *ГП*, с которым собирается временная схема (рис. 102). Как видно из приведенной схемы, от начала и конца дополнительных полюсов выведены провода на переключатель подпитки *ПП*. На средние клеммы переключателя *ПП* через шунт амперметра $A_п$ и контактор генератора подпитки *КГП* включен генератор подпитки.

Возбуждение генератора *ГП* включено на подвижные контакторы потенциометра $P_п$, питаемого от машины *ПВ*. Подобное

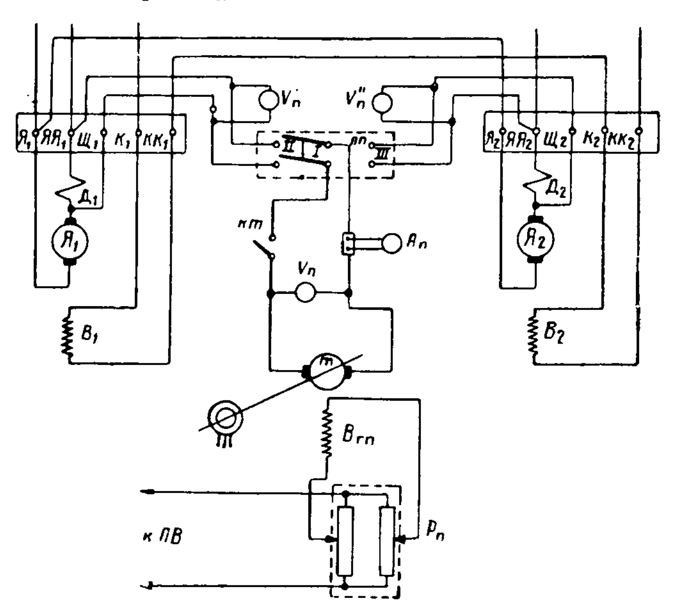


Рис. 102. Принципиальная схема для проведения коммутационных испытаний

включение возбуждения генератора *ГП* позволяет осуществлять плавное регулирование и изменение полярности напряжения на его зажимах.

Измерительные цепи включают в себя вольтметр $V_п$, показывающий напряжение на генераторе *ГП*, вольтметры $V'_п$, $V''_п$, показывающие падение напряжения на добавочных полюсах соответственно 1-й и 2-й машин, и амперметр $A_п$ — для измерения тока подпитки. Амперметр $A_п$ должен выбираться с нулевым делением посредине.

Во время испытаний нагружение машин осуществляется по схеме рис. 97, *в*.

После установления режима нагрузки изменением возбуждения генератора *ГП* добиваются равенства показаний вольтметров $V_п$ и $V'_п$ или $V_п$ и $V''_п$ в зависимости от того, для какой машины снимается зона наилучшей коммутации.

При этом необходимо строго следить за соответствием полярности вольтметров, так как ошибка в полярности может привести к перебросу на испытуемой машине при включении переключателя *ПП*.

При условии, что $U_п = U'_п$ или $U_п = U''_п$ — включают переключатель *ПП* соответственно в положение II — *ПП* или III — *ПП* и затем контактор *КГП*. Увеличивая возбуждение генератора *ГП*, ведут опыт положительной подпитки, уменьшая опыт отрицательной подпитки.

Генератор *ГП* во время проведения опытов не должен быть заземлен.

Схемы стендов испытания вспомогательных машин постоянного тока. Как отмечалось выше в § 2, для нагружения вспомогательных машин наибольшее распространение получил метод непосредственной нагрузки, применительно к которому ведется рассмотрение схем стендов.

Схемы стендов должны обеспечивать возможность проведения контрольных и типовых испытаний в соответствии с ГОСТ 2582—50.

Вспомогательные машины выполняются на различные номинальные данные, различные системы возбуждения, поэтому создают стенды для однотипных машин и универсальные стенды.

Первые стенды лучше всего оправдывают себя при значительном количестве испытуемых машин (крупносерийное или массовое производство) и наличии достаточных площадей. Универсальные стенды требуют несколько большего времени для подготовки испытаний, но позволяют сократить площадь испытательных станций. Ниже (рис. 103) рассматривается схема универсального стенда, рассчитанного на испытания низковольтных и высоковольтных машин с последовательной, независимой, параллельной и смешанной системами возбуждения. Схемы специализированных стендов по системе возбуждения машин могут быть легко получены из приведенной на рис. 103.

С и с т е м а п и т а н и я с т е н д а. Питание стенда осуществляется от двух генераторов: линейного генератора $ЛГ_1$, вспомогательного генератора *ГВ*.

Питание от генератора $ЛГ_1$ подается на стенд через однополюсный коммутирующий аппарат с дистанционным приводом $КЛ_1$. Питание от генератора *ГВ* подается через двухполюсный рубильник $РУ_в$. Генераторы $ЛГ_1$ и *ГВ* соединены с обратным заземленным проводом.

Питание возбуждения генератора $ЛГ_1$ осуществляется от индивидуального возбудителя *В*.

Питание возбуждения возбудителя производится от возбудителя *ПВ* через регулировочный реостат $Р_{В3}$, расположенный в столе стенда, а возбуждение генератора *ГВ* через регулировочный реостат $Р_{В4}$ — от возбудителя *ПВ*.

С и л о в а я с х е м а с т е н д а. Рассмотрение силовой схемы стенда ведется применительно к испытанию машин различных систем возбуждения при их работе в двигательном и генераторном режимах.

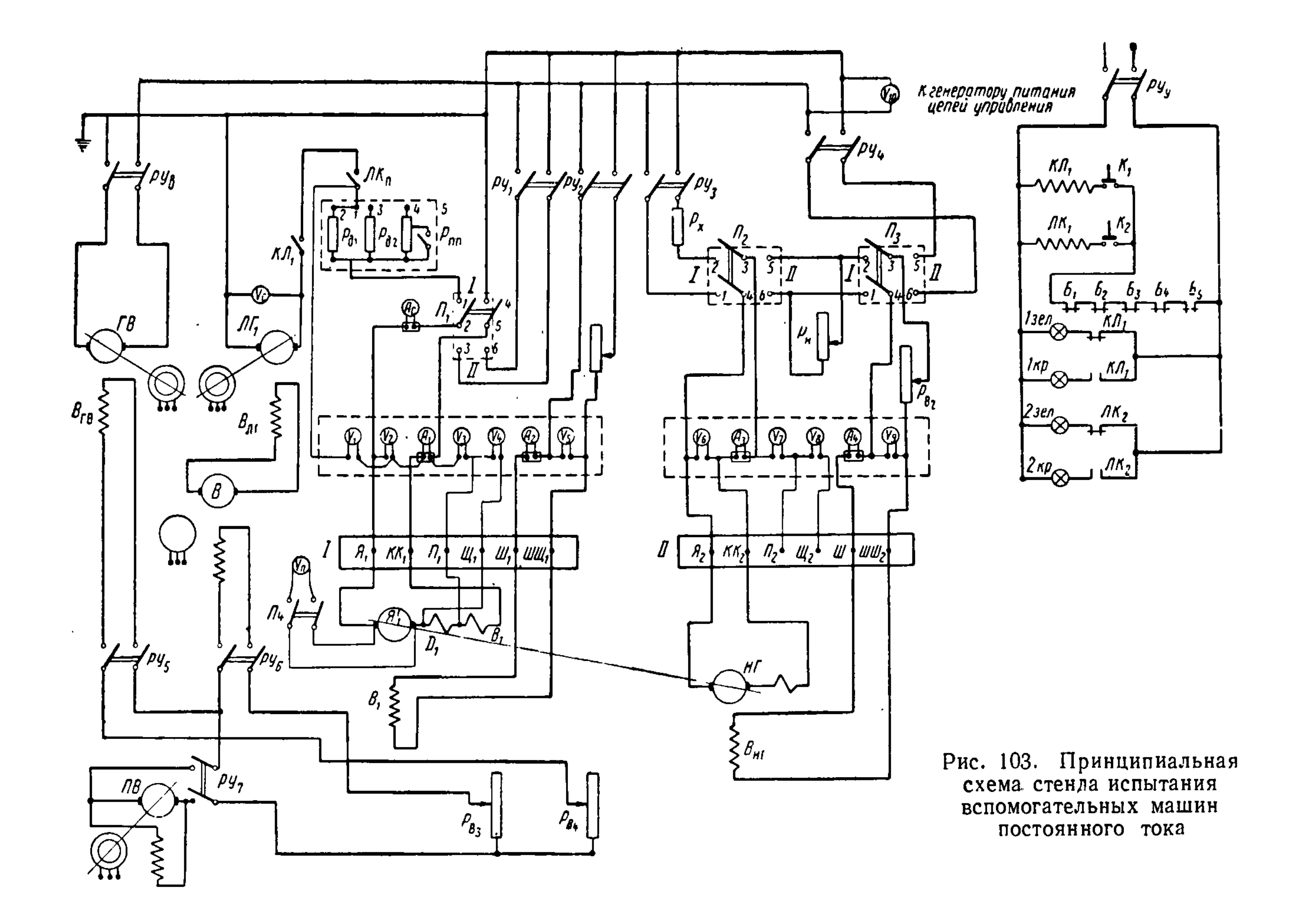


Рис. 103. Принципиальная схема стенда испытания вспомогательных машин постоянного тока

Силовая схема при испытании машин с последовательным возбуждением в двигательном режиме. При испытании используется метод непосредственного нагружения при помощи нагрузочного генератора *НГ*. Испытуемая машина подсоединяется к клеммной колонке *I* на клеммы $Я_1$, $КК_1$. Кроме того, из машины делаются выводы со щетки (в месте соединения щетки с добавочным полюсом) и точки соединения добавочных и главных полюсов, если это соединение выполнено внутри машины. Эти выводы включаются соответственно на клеммы $Щ_1$ и $П_1$. Силовая цепь в этом случае идет от обратного заземленного провода через генератор $ЛГ_1$, контакторы $КЛ_1$, $ЛК_1$ на панель демпферных сопротивлений.

Панель имеет ряд демпферных сопротивлений $Р_{Д1}$, $Р_{Д2}$ и пусковые панели $Р_{пп}$ для возможности изменения сопротивления демпфера в соответствии с необходимостью при испытаниях машин различных типов.

Предусмотрена возможность проведения испытаний при отсутствии демпфера и пусковых сопротивлений. В этом случае необходимое сопротивление подсоединяется перемычкой к клемме *1*. На схеме включено сопротивление $Р_{д1}$ (перемычка *2—1*). От панели цепь идет на переключатель $П_1$, служащий для получения питания испытуемой машины либо от генератора $ЛГ_1$, либо от генераторов *ГВ*. Питание от генератора *ГВ* необходимо для возможности измерения сопротивлений якорной цепи испытуемых машин при неподвижном якоре.

При положении *I—II* переключателя ток проходит через клеммы *1*, *2*, шунт амперметра $А_с$, клемму $Я_1$, якорь $Я_1'$, обмотки $Д_1$ $В_1$, клемму $КК_1$, шунт амперметра $А_1$, клеммы *5*, *4* переключателя $П_1$, обратный заземленный провод.

Для возможности получения нагрузки испытуемая машина механически соединяется с нагрузочным генератором *НГ*, который подсоединяется к клеммной колонке *II*, причем цепь его включается на клеммы $Я_2$, $КК_2$, цепь возбуждения на клеммы $Ш_2$, $ШШ_2$. Переключатель $П_2$ устанавливается в положение *II*, что обеспечивает последовательное соединение якоря *НГ* и нагрузочного реостата $Р_н$.

Переключатель $П_3$ устанавливается в положение *I* или *II* в зависимости от того, необходима работа при независимом или параллельном возбуждении. Параллельное возбуждение обеспечивается при положении *I* переключателя $П_3$, независимое — при положении *II*. Регулирование нагрузки осуществляется регулированием тока возбуждения генератора *НГ* реостатом $Р_{В2}$ и регулированием тока якоря нагрузочным реостатом $Р_н$.

Рассмотренная схема позволяет производить контрольные испытания в объеме, предусмотренном ГОСТ 2582—50, и типовые испытания, за исключением определения к. п. д. методом отдельных потерь и определения зоны наилучшей коммутации.

Определение потерь методом холостого хода при независимом возбуждении может быть осуществлено включением обмотки возбуждения на клеммы $Ш_1$ и $ШШ_1$. В этом случае питание обмотки возбуждения осуществляется через рубильник $РУ_2$ и регулировочный реостат $Р_{В1}$ от генератора *ГВ*. Следует иметь в виду, что для проведения этих испытаний из испытуемой машины выводят концы *Я*, *ЯЯ*, *К*, *КК* и отсоединяют ее механически от генератора *НГ*.

Для определения зоны наилучшей коммутации на стенде должна быть собрана дополнительная схема, аналогичная схеме, используемой для определения зоны наилучшей коммутации тяговых двигателей (см. рис. 102).

Силовая схема при испытании машин с независимым и смешанным возбуждением в двигательном режиме. Испытуемая машина включается на клеммную колонку *1* (клеммы $Я_1$, $КК_1$, $Ш_1$, $ШШ_1$). Для всех испытаний машин с независимым и смешанным возбуждением, за исключением определения потерь холостого хода машины со смешанным возбуждением, используются те же схемы, что и при испытании машин с последовательным возбуждением в двигательном режиме.

Схема определения потерь холостого хода машины со смешанным возбуждением имеет следующие особенности: если нормально машина работает при согласном включении последовательной и независимой обмоток, то испытания проводятся при независимом питании обмотки, создающей максимальную н. с., либо обе обмотки включаются последовательно; если нормально машина работает при встречном включении последовательной и независимой обмоток, то испытания проводятся при независимом питании обмотки, создающей максимальную н. с.

Определение зоны наилучшей коммутации производится аналогично тяговым двигателям (см. рис. 102).

Силовая схема при испытании машин с параллельным, независимым и смешанным возбуждением в генераторном режиме. Привод вспомогательных электрических машин подвижного состава, работающих в генераторном режиме, выполняется либо в виде мотор-генераторов, либо эти машины располагаются на одном валу с двигателем, либо механически связаны с валом главного двигателя или осью колесной пары. В первых двух случаях приводной двигатель включается на клеммную колонку *I*, а нагрузочный генератор демонтируется. Причем, как правило, в первом случае одновременно производятся испытания двигателя и генератора. Во втором случае необходимо механическое соединение испытуемой машины с приводным двигателем. В качестве приводного двигателя используется либо дополнительная машина, либо нагрузочный генератор, работающий в двигательном режиме. При этом приводной двигатель также включается на клеммную колонку *I*.

При испытании в генераторном режиме испытуемая машина подсоединяется к клеммной колонке *II* аналогично подсоединению к колонке *I* машин, испытываемых в двигательном режиме. Якорная цепь при включенном рубильнике $РУ_3$ и переключателе $П_2$, находящемся в положении *I*, получает питание от генератора *ГВ*, что обеспечивает замер сопротивлений якорной цепи при неподвижной машине и возможность снятия потерь холостого хода при независимом возбуждении. В этой цепи для ограничения тока включено сопротивление P_x. При переводе переключателя $П_2$ в положение *II* якорная цепь включается на нагрузочный реостат $P_н$. При включенном рубильнике $РУ_4$ и переключателе $П_3$, находящемся в положении *II*, обеспечивается независимое питание обмотки возбуждения испытуемой машины от генератора *ГВ*. При переключении $П_3$ в положение *I* испытуемая машина переводится на параллельное возбуждение.

Определение зоны наилучшей коммутации производится аналогично тяговым двигателям.

Измерительные цепи стенда. Измерительные цепи стенда оснащены щитовыми и прецизионными приборами.

Щитовые приборы установлены:

$V_с$ — вольтметр на зажимах генератора $ЛГ_1$;

$A_с$ — амперметр в цепи 1-й машины;

V_{10} — вольтметр на зажимах генератора *ГВ*.

На стенде установлены следующие прецизионные приборы:

V_1, V_6 — вольтметры для измерения напряжения сети 1-й и 2-й машин;

V_2 — вольтметр для измерения напряжения на зажимах 1-й машины;

V_3, V_7 — вольтметры для измерения падения напряжения в последовательном возбуждении;

V_4, V_8 — вольтметры для измерения падения напряжения в добавочных полюсах;

V_5, V_9 — вольтметры для измерения напряжения на обмотке независимого возбуждения;

V_{11} — вольтметр для определения падения напряжения в неподвижном якоре;

A_1, A_3 — амперметры для измерения токов якоря;

A_2, A_4 — амперметры для измерения токов обмоток возбуждения.

Следует особо отметить, что в приведенной схеме должна быть обеспечена возможность легкой смены шунтов амперметров. Это необходимо для обеспечения необходимой точности измерений при испытаниях машин с различными параметрами и номинальными данными.

Цепи управления и сигнализации. В рассматриваемой схеме только два коммутационных аппарата — $ЛК_1$ и $КЛ_1$ — име-

ют дистанционное управление. В соответствии с этим цепь управления и сигнализации стенда построена применительно к этим аппаратам.

Для обеспечения безопасности работы оба аппарата блокированы посредством блокировок $Б_1$—$Б_5$ с крышками стенда, клеммными колонками и распределительным щитом, чтобы включение аппаратов было возможно только при закрытых крышках и дверях. Подача питания на включающие катушки $КЛ_1$ и $ЛК_1$ производится через блокировки $Б_1$—$Б_5$ и включающие кнопки $К_1$, $К_2$.

Сигнализация осуществляется питанием ламп *1 зел* и *2 зел* через нормально замкнутые блокконтакты и питанием *1 кр* и *2 кр* через нормально разомкнутые блокконтакты.

Порядок проведения испытаний на стенде следующий (приведен для контрольных испытаний машин в двигательном режиме):

на стенд устанавливают генератор *НГ* и испытуемую машину, которые механически соединяют друг с другом;

подключают испытуемую машину к клеммной колонке *I*, генератор *НГ* к клеммной колонке *II*;

затормаживают якорь испытуемой машины;

устанавливают прецизионные приборы в цепь испытуемой машины, проверяют пределы их включений и установку стрелок на нуль;

отмечают положение якоря, в котором производится замер сопротивления;

включают приводы питающих генераторов, возбудителей;

включают питание цепей управления и сигнализации ($РУ_7$, $РУ_9$);

проверяют положение переключателей $П_1$, $П_2$, $П_3$ и реостатов, которые должны быть полностью введены, а также правильность включения сопротивления демпферов или пусковых панелей. Включив рубильники $РУ_5$, $РУ_8$, $РУ_2$, $РУ_1$, $П_4$, измеряют сопротивления;

сняв тормозное устройство якоря, выключив рубильники $П_4$ и $РУ_4$, выведя частично реостаты $Р_{В_1}$, $Р_{В_2}$ и переведя переключатель в положение $П_1$, в положение при минимальном напряжении генератора $ЛГ_1$ (проверяют по показаниям вольтметра V_c), включают кнопки $К_1$, $К_2$, что вызывает вращение машин;

регулируя одновременно реостаты $_{В_3}$ и $Р_{В_2}$, устанавливают по показаниям приборов A_1, A_2, V_1 режим и проводят тепловые испытания;

в конце теплового режима отключают кнопку $К_2$, после остановки стопорят машины и устанавливают переключатель $П_1$ в положение *II*, измеряют сопротивление якоря;

после снятия замеров устанавливают переключатель $П_1$ в положение *I*, снимают все прецизионные приборы, кроме вольтметра V_1 и амперметров, пускают испытуемую машину так, как указано выше, и проверяют номинальную точку, а также коммутацию при максимальной скорости и перегрузке; выключают схему

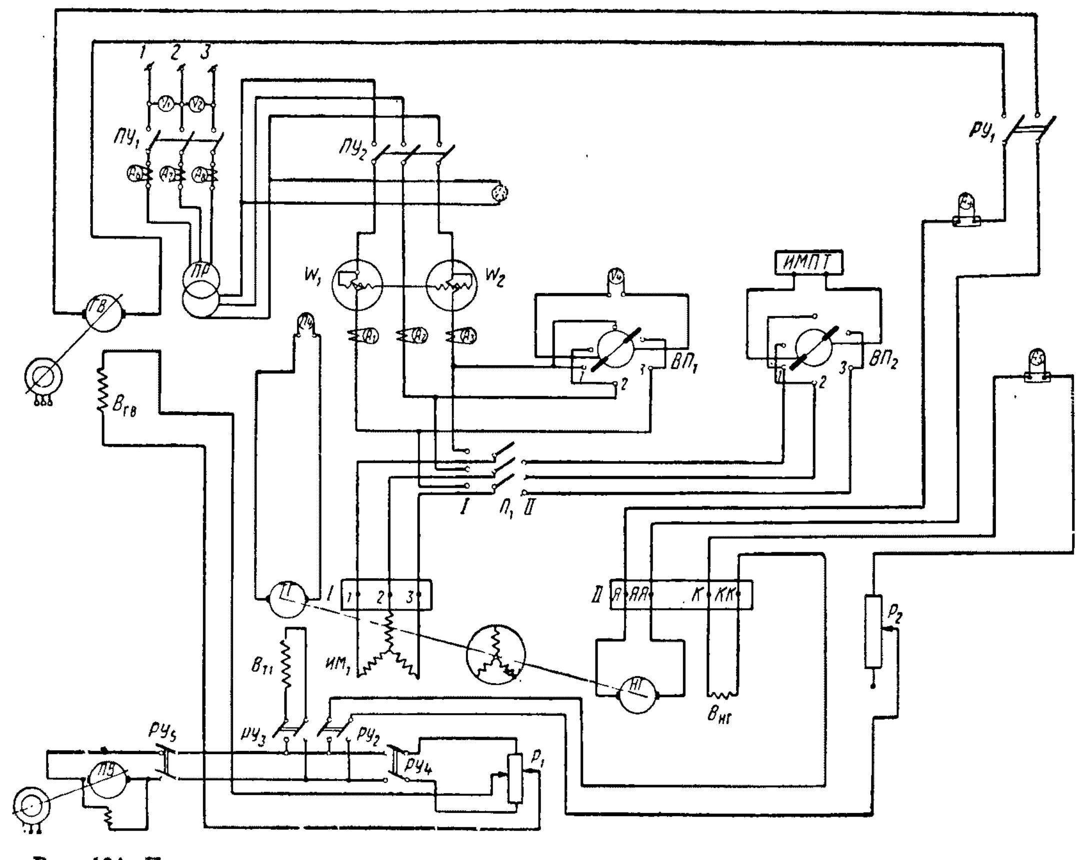


Рис. 104. Принципиальная схема стенда испытания вспомогательных машин переменного тока

и отключают прецизионные амперметры, после чего проверяют коммутацию при пуске.

По окончании испытаний отключают питающие генераторы, цепи управления и сигнализации, отсоединяют испытуемую машину, снимают прецизионные приборы, полностью вводят все реостаты.

Схема стенда испытания вспомогательных машин переменного тока. Схема стенда испытания вспомогательных машин переменного тока в связи с тем, что в качестве этих машин в большинстве случаев используются короткозамкнутые асинхронные двигатели, должна обеспечивать проведение контрольных и типовых испытаний подобных машин в соответствии с ГОСТ 183—55. Схема подобного стенда представлена на рис. 104.

В связи с тем, что при контрольных испытаниях асинхронных двигателей не проводится нагружение испытуемой машины в номинальном режиме, схема стенда для проведения контрольных испытаний является чрезвычайно простой и включает в себя только цепи, связанные с питанием клеммной колонки *I*.

Система питания стенда. Питание стенда осуществляется от сети переменного тока промышленной частоты, через потенциал-регулятор *ПР* и от генератора постоянного тока *ГВ*.

Питание цепей возбуждения генераторов *ГВ* и *НГ* и тахогенератора *ТГ* осуществляется от возбудителя *ПВ*.

Цепь возбуждения генератора *ГВ* получает питание от возбудителя *ПВ* через потенциометр P_1. Включение потенциал-регулятора *ПР* осуществляется магнитным пускателем $ПУ_1$.

Силовая цепь испытуемых машин. Силовая цепь от испытуемых машин идет от питающей системы через пускатель $ПУ_1$, потенциал-регулятор *ПР*, рубильник $ПУ_2$, ваттметры W_1 и W_2, амперметры A_1, A_2, A_3, переключатель $П_1$, находящийся в положении *I*, клеммную колонку *I*, на испытуемую машину.

Силовая цепь нагрузочного генератора. Якорная цепь генератора *НГ* идет от генератора *ГВ*, через рубильник $РУ_1$, шунт амперметра A_4 на зажимы *Я*, *ЯЯ* клеммной колонки *II*, к которым подключен якорь *НГ*. Цепь возбуждения генератора *НГ* идет от возбудителя *ПВ* через рубильник $РУ_2$, реостат P_2, шунт амперметра A_5, на зажимы *К*, *КК*, к которым подключена обмотка $B_{НГ}$.

Измерительные цепи стенда. Измерительные цепи стенда состоят из щитовых и прецизионных приборов.

Щитовые приборы:

V_1, V_2 — вольтметры, включенные на ввод потенциал-регулятора *ПР*, показывающие линейные напряжения

$$U_{1,2},\ U_{2,3};$$

V_3 — вольтметр, включенный перед рубильником $ПУ_2$, показывающий линейное напряжение $U_{1,3}$;

A_6, A_7, A_8 — амперметры с трансформаторами тока, показывающие нагрузку фаз.

Прецизионные приборы:

W_1, W_2 — ваттметры, служащие для измерения мощности, потребляемой испытуемой машиной;

A_1, A_2, A_3 — амперметры с трансформаторами тока, служащие для измерения нагрузки фаз;

$V_н$ — вольтметр с переключателем $ВП_1$, служащий для измерения линейных напряжений $U_{1,3}$ $(1 — ВП_1)$, $U_{2,1}$ $(2 — ВП_1)$, $U_{3,2}$ $(3 — ВП_1)$;

ИМПТ — измерительный мост постоянного тока с переключателями $П_1$ и $ВП_2$;

ИМПТ служит для измерения сопротивления обмоток испытуемых машин. При измерениях переключатель $П_1$ должен быть установлен в положение *II*. При соединении обмоток в звезду в положении $1 — ВП_2$ измеряется сопротивление $R_1 = R_{ф1} + R_{ф3}$, в положении $2 — ВП_2$ сопротивление $R_2 = R_{ф2} + R_{ф1}$, в положении $3 — ВП_2$ — сопротивление $R_3 = R_{ф3} + R_{ф2}$;

A_4 — амперметр для измерения тока якоря *НГ* должен иметь двустороннюю шкалу;

A_5 — амперметр, служащий для измерения тока возбуждения генератора *НГ*;

n_v — вольтметр, отградуированный для измерения скорости вращения испытуемой машины. Питается от тахогенератора *ТГ*, механически соединенного с испытуемой машиной. Возбуждение тахогенератора независимое от возбудителя *ПВ* через рубильник $РУ_3$.

Цепи управления и сигнализации. Цепи управления и сигнализации стенда выполняют аналогично цепям стендов тяговых двигателей и вспомогательных машин постоянного тока. Кнопки устанавливают в цепи включающих катушек пускателей $ПУ_1$, $ПУ_2$. В эту же цепь включают блокировки безопасности.

Порядок проведения испытаний на стенде (применительно к проведению контрольных испытаний асинхронных короткозамкнутых двигателей) следующий:

испытуемая машина подключается к клеммной колонке *I*;

включаются прецизионные приборы: W_1, W_2, A_1, A_2, A_3, V_4, *ИМПТ*;

при положении *II* переключателя $П_1$ производят измерение сопротивления обмоток;

стопорят испытуемую машину, переключатель $П_1$ переводят в положение *I*, включают переключатель $ПУ_1$;

потенциал-регулятором *ПР* снижают напряжение до минимума. Проверка величины напряжения осуществляется по показаниям вольтметра V_3;

включают переключатель $ПУ_2$ и проводят опыт короткого замыкания;

отключают переключатель $ПУ_2$, снимают стопорящее устройство;

включают переключатель $ПУ_2$ и проводят опыт холостого хода и испытание межвитковой изоляции обмоток;

отключают переключатель $ПУ_1$, $ПУ_2$, прецизионные приборы и испытуемую машину.

Схема стенда для испытания электрической прочности изоляции обмоток электрических машин относительно корпуса машины и между обмотками. Все электрические машины проходят испытание электрической прочности изоляции относительно корпуса и друг друга.

Обычно эти испытания производятся на неподвижных машинах при температуре обмоток, близкой к рабочей. Схема стенда представлена на рис. 105. Питание осуществляется через контактор *К* от сети переменного тока низкого напряжения (127, 220 *в*). Для защиты схемы установлены плавкие предохранители.

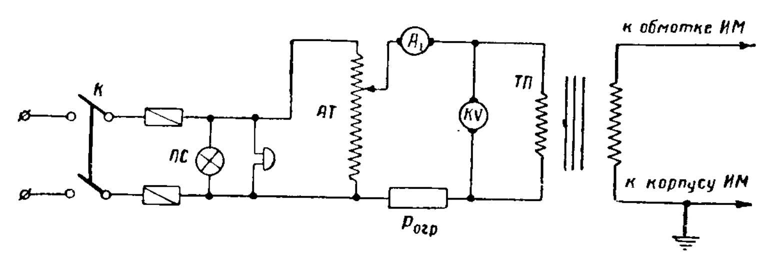


Рис. 105. Принципиальная схема стенда испытания электрической прочности изоляции электрических машин

Сигнализация состоит из красной сигнальной лампы *ЛС* и электрического звонка. Питание подается на автотрансформатор *АТ*, оттуда через амперметр A_1 и ограничивающее сопротивление $P_{огр}$ питается низковольтная обмотка повышающего трансформатора *ТП*. На низковольтную обмотку трансформатора *ТП* включен вольтметр *KV*, отградуированный на напряжение высоковольтной обмотки *ТП*. Амперметр отградуирован на ток высоковольтной цепи трансформатора *ТП*.

Один конец высоковольтной обмотки трансформатора *ТП* наглухо заземляется, также заземляется корпус испытуемой машины *ИМ* и не испытываемые в данный момент обмотки.

Второй конец высоковольтной обмотки *ТП* подключается к выводу испытуемой обмотки.

Включающая катушка контактора *К* блокируется с дверьми стенда таким образом, чтобы была обеспечена полная безопасность работы.

§ 32. Принципиальные схемы испытательных станций аппаратов

В связи со значительной разницей между программой, объемом контрольных и типовых испытаний аппаратов в соответствии с ВТУ НКЭП 559—45 и специальными техническими условиями

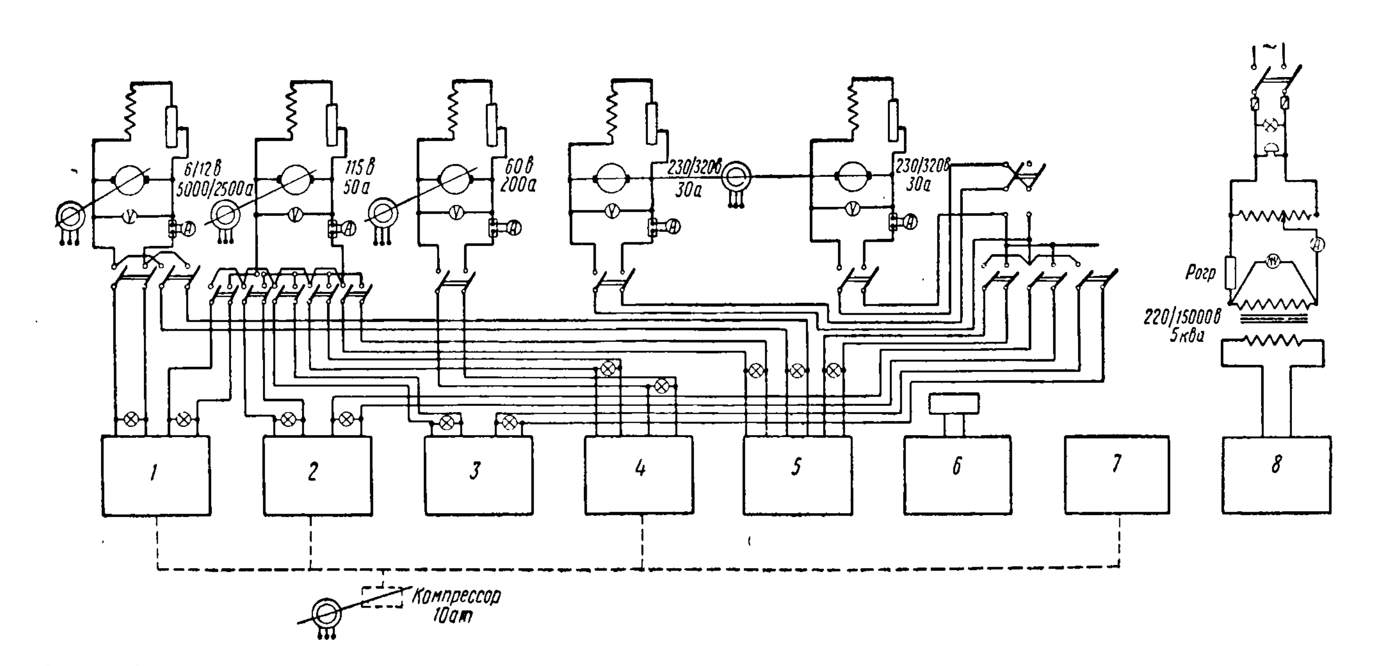


Рис. 106. Принципиальная схема испытательной станции контрольных испытаний электровозных аппаратов:

1 — стенд испытания *БВП*; *2* — стенд испытания *ПТК*, реверсоров и *ПК*; *3* — стенд испытания *МК*; *4* — стенд испытания клапанов; *5* — стенд испытания реле и панелей; *6* — стенд испытания сопротивлений; *7* — стенд испытания пантографов; *8* — стенд испытания электрической прочности изоляции

испытательные станции аппаратов делятся на испытательные станции для контрольных испытаний и испытательные станции для типовых испытаний.

Принципиальные схемы испытательных станций для контрольных испытаний. В соответствии с ВТУ НКЭП 558—45 схема и оборудование станции для контрольных испытаний должны обеспечивать проверку действия и испытание электрической прочности изоляции аппаратов.

Большая номенклатура и значительное различие принципов действия тяговых аппаратов делает необходимым при разработке схем для испытательных станций создавать универсальные стенды, ориентированные на испытания определенных аппаратов, и осуществлять сборку временных схем для испытаний каждого аппарата. Указанные обстоятельства заставляют также создавать универсальные конструкции для крепления аппаратов во время испытаний. Стационарной является только схема энергоснабжения стендов.

На рис. 106 представлена принципиальная схема испытательной станции для контрольных испытаний электровозной аппаратуры, выполненная в соответствии с отмеченным выше положением. Станция имеет 7 стендов, каждый из которых рассчитан на испытания определенного вида аппаратуры, и 1 стенд для проведения испытаний электрической прочности изоляции всех аппаратов. К 4 стендам подведен сжатый воздух. Питание стендов осуществляется от пяти генераторов, расположенных в непосредственной близости от стендов. Испытания на стендах производятся методами, приведенными в гл. V.

Принципиальные схемы испытательных станций для типовых испытаний. Принципиальные схемы испытательных станций для типовых испытаний аналогичны принципиальным схемам станций для контрольных испытаний.

Основными отличиями этих двух испытательных станций являются: увеличенное число и мощность генераторов, питающих стенды для типовых испытаний; возможность подачи питания от любого генератора на любой стенд; наличие стендов для определения разрывной способности коммутирующей аппаратуры; наличие вибростендов для исследования виброустойчивости аппаратуры. Описание таких станций приведено в § 35.

§ 33. Выбор основного оборудования испытательных станций

Выбор оборудования испытательных станций электрических машин ведется применительно к использованию методов нагружения по схемам возвратной работы рис. 97 и метода непосредственного нагружения по схемам рис. 99 и 100.

Выбор вольтодобавочной машины. При выборе вольтодобавочной машины необходимо определить ее параметры по номинальному току и напряжению.

Определение номинального тока вольтодобавочной машины. В соответствии с ГОСТ 2582—50 при испытаниях тяговых двигателей они должны быть нагружены максимальным током, равным двойному часовому $I_{макс} = 2I_{ч.т.д}$.

В соответствии с ГОСТ 183—55 максимальный допустимый ток для генераторов постоянного тока общепромышленного применения равен $I_{макс} = 1{,}5\,I_н$. В связи с тем, что тяговые двигатели двойной перегрузке по току подвергают только после изготовления и ремонта, а вольтодобавочная машина должна обеспечивать повседневную работу стенда, целесообразно при выборе ее тока исходить из допустимой перегрузки на 25%. Тогда

$$I_{н.в.м.} = 1{,}6\,I_{ч.т.д},$$

где $I_{ч.т.д}$ — часовой ток тягового двигателя.

Определение номинального напряжения вольтодобавочной машины. Как уже отмечалось ранее в § 30, вольтодобавочная машина должна покрывать падение напряжения в схеме и компенсировать разность характеристик испытуемых машин.

Падение напряжения в схеме должно покрываться при нагретых до $\tau = 120°C$ машинах, имеющих изоляцию класса B и токе, равном двойному часовому

$$\Delta U_1 = 2{,}94 I_ч (R_{гп} + R_{дп} + R_я),$$

где $R_{гп}$, $R_{дп}$, $R_я$ — сопротивления обмоток испытуемых машин при $+20°C$.

В соответствии с ГОСТ 2582—50 отклонение характеристик тяговых двигателей не должно превышать $\pm 3\%$, т. е. максимальное расхождение характеристик достигает 6%. При испытании машин проверяется их работоспособность при $U = 1{,}3\,U_{н.т.д}$, следовательно, величина расхождения напряжения, которая должна компенсироваться вольтодобавочной машиной, равна

$$\Delta U_ч = 0{,}06 \cdot 1{,}3 U_{н.т.д} = 0{,}078 U_{н.т.д}.$$

где $U_{н.т.д}$ — номинальное напряжение тягового двигателя.

Следовательно, номинальное напряжение вольтодобавочной машины $U_{н.т.д} = 2{,}94 I_{ч.т.д} (R_{гп} + R_{дп} + R_я) + 0{,}078 U_{н.т.д}$.

Запас по напряжению, который имеет машина в случае усиления возбуждения, должен быть оставлен для покрытия расхождения характеристик, выходящих за пределы $\pm 3\%$, увеличения сопротивления при вращении за счет добавочных потерь и т. д.

В случае значительного расстояния между вольтодобавочной машиной и испытательным стендом при выборе напряжения необходимо учитывать падение напряжения в подводящих проводах.

Определение мощности вольтодобавочной машины. Номинальная мощность машины $P_{н.в.м} = I_{н.в.м}\, U_{н.в.м} = 4{,}7 I_{ч.т.д} (R_{гп} + R_{дп} + R_я) + 0{,}125\,P_{ч.т.д}$. Кроме определения номинальных данных, при выборе вольтодобавочной машины сле-

дует иметь в виду, что при неподвижных машинах она должна обеспечивать токи, равные $0,2-0,40 I_ч$, для замера холодного и горячего сопротивлений машин.

В том случае, если величина остаточного напряжения вольтодобавочной машины такова, что этой минимальной величины тока непосредственно получить нельзя, на время проведения этих замеров в цепь вводится добавочное сопротивление.

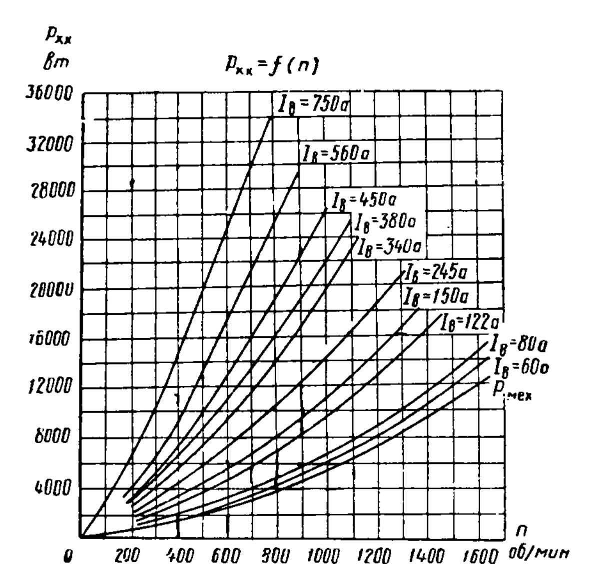


Рис. 107. Потери холостого хода двигателя НБ-406

В схемах испытания тяговых двигателей в качестве вольтодобавочной машины, как правило, используются генераторы общепромышленного применения серии ГП.

Выбор линейных генераторов. Выбор линейного генератора при испытаниях по схеме возвратной работы рис. 97. При выборе линейного генератора необходимо определить его параметры по номинальной мощности, максимальному напряжению и номинальному току.

Определение номинальной мощности. Как уже отмечалось в § 30, в рассматриваемой схеме линейный генератор служит для покрытия потерь 1-й группы, т. е. механических, магнитных и частично добавочных, обеих испытуемых машин.

Исходя из сказанного, $P_{нлг} = 2P_{1гр.\,макс}$.

Определение $P_{1\,гр.\,макс}$ производится на основании данных типовых испытаний машин следующим образом: строится зависимость потерь 1-й группы от режима работы испытуемых машин во всем диапазоне рабочих режимов.

Для наглядности рассмотрим определение мощности линейного генератора для испытания электровозных тяговых двигателей

типа НБ-406. На рис. 107 приведены данные потерь холостого хода этого двигателя, а на рис. 108 — его скоростная характеристика. Для определения $P_{1\ гр.\ макс}$ строят зависимость $P_{1\ гр} = f(I_я)$ для полного поля. Выбрав несколько значений токов, по характеристикам определяют соответствующие скорости вращения. По скорости вращения определяют механические потери, а по скорости и току возбуждения — потери в стали $P_{ст}$. Учет дополнительных потерь ведется, исходя из того, что $P_{доп} = 0{,}3P_{ст}$.

Результаты расчетов представлены в табл. 38 ($U = 1\,500$ *в*).

Зависимость $P_{1\ гр} = f(I_я)$ представлена на рис. 108. Величина

$$P_{1\ макс} = 30\,100\ вт \quad при \quad I_{т.д} = 2I_н = 750\ а.$$

Отсюда

$$P_{н.\ л.\ г} = 2P_{1\ гр.\ макс} = 60\,200\ вт.$$

Это мощность линейного генератора *ЛГ*, найденная для $U = U_{н.\ т.\ д}$.

Определение величины полной установленной мощности линейного генератора приводится ниже.

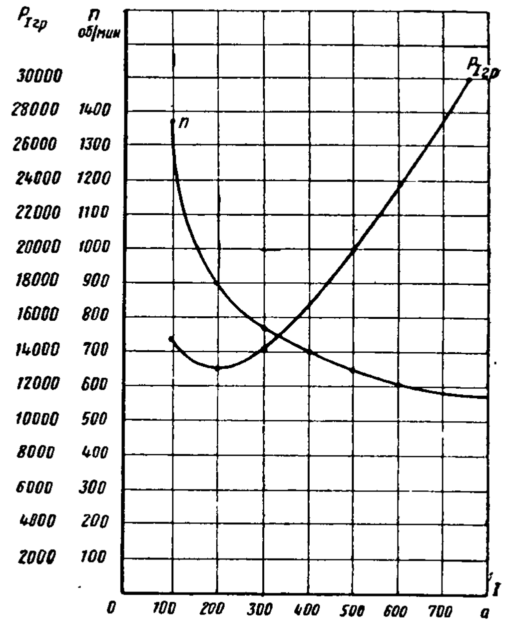


Рис. 108. Скоростная характеристика и потери $P_{1гр}$ двигателя НБ-406

Определение номинального тока линейного генератора. Исходя из определенной выше мощности линейного генератора

$$I_{н.л.г} = \frac{P_{н.\ л.\ г}}{U_{н.и.м}},$$

где $U_{н.и.м}$ — номинальное напряжение испытуемой машины.

Таблица 38

$I_я$ в *а*	*n* в *об/мин*	$P_{мех}$ в *вт*	$P_{ст}$ в *вт*	$P_{1гр}$ в *вт*
100	1 350	8 400	5 100	15 000
200	900	4 000	7 000	13 100
300	775	3 300	8 200	14 000
400	700	3 000	10 600	16 750
500	650	2 800	13 200	20 000
600	620	2 700	16 300	23 800
750	575	2 400	21 300	30 100

Определение номинального напряжения линейного генератора. По условиям испытаний в соответствии с ГОСТ 2582—50 генератор должен обеспечивать возможность получения напряжения, равного $1{,}3U_{н}$, отсюда

$$U_{н.л.г} = 1{,}3\,U_{н.и.м}.$$

Определение полной установленной мощности линейного генератора. Полная установленная мощность определяется из условий обеспечения всех испытательных режимов

$$P_{н.л.г} = I_{н.л.г}\,U_{н.л.г} = 2{,}6P_{1\,гр.\,макс}.$$

Обычно для повышения устойчивости работы схемы величина установленной мощности повышается по сравнению с приведенной величиной в 2—3 раза.

Ввиду того что промышленностью не выпускаются высоковольтные генераторы постоянного тока, при испытаниях высоковольтных машин в качестве линейных генераторов обычно используются тяговые двигатели с независимым возбуждением.

При испытаниях низковольтных машин могут быть использованы в качестве линейных генераторов машины серий ГП и ПН.

Выбор лииейного генератора при испытаниях по схеме непосредственного нагружения рис. 99 и 100. При выборе линейного генератора необходимо определить его параметры по номинальному напряжению, номинальному току и номинальной мощности.

Определение номинального напряжения линейного генератора. В соответствии с ГОСТ 2582—50 по условиям испытаний генератор должен обеспечивать напряжение, равное $1{,}3\,U_{н.и.м}$

$$U_{н.л.г} = 1{,}3U_{н.н.м}.$$

Определение номинального тока линейного генератора. Номинальный ток определяется, исходя из обеспечения ударного включения испытуемых машин при повышенном напряжении и необходимости ограничения посадки напряжения в этом режиме.

Как уже отмечалось ранее в гл. I, при пуске вспомогательных машин имеют место броски тока, $I_{макс} = 4 \div 30 I_{н.и.м}$. Исходя из того что в соответствии с ГОСТ 183—55 генераторы обеспечивают кратковременную перегрузку по току до 150%, имеем

$$I_{н.л.г} = \frac{(4 \div 30)\,I_{н.и.м}}{1{,}5} = (2{,}65 \div 20)\,I_{н.и.м}.$$

Определение номинальной мощности линейного генератора

$$P_{н.л.г} = U_{н.л.г}\,I_{н.л.г} = (3{,}4 \div 26)\,U_{н.и.м}\,I_{н.и.м}.$$

При испытаниях от одного генератора нескольких типов машин его параметры выбирают по машине максимальной мощности. В ка-

честве линейного генератора при непосредственном нагружении используют те же типы электрических машин, что и при использовании метода возвратной работы.

Выбор вспомогательного двигателя. При выборе вспомогательного двигателя необходимо определить его параметры по мощности и скорости вращения.

Определение номинальной мощности вспомогательного двигателя. Как отмечалось выше, вспомогательный двигатель должен покрывать потери 1-й группы. Величина потерь $P_{1\ гр}$ для определения мощности двигателя находится по данным типовых испытаний машин так же, как и при выборе мощности линейного генератора для схем возвратной работы,

$$P_{н.в.м} = \frac{2P_{1\ гр.\ макс}}{1,5} = 1,35P_{1\ гр.\ макс}.$$

Определение номинальной скорости вращения вспомогательного двигателя. Двигатель должен обеспечивать получение любой точки скоростной характеристики испытуемых машин и максимальную испытательную скорость вращения их.

При использовании в качестве двигателя машины с последовательным возбуждением

$$n_{н.в.м} = 0,666n_{макс.\ им},$$

где $n_{макс.\ им}$ — максимальная испытательная скорость вращения.

При использовании в качестве вспомогательного двигателя машины с независимым возбуждением

$$n_{н.в.м} = 0,836n_{макс.им}.$$

Определение номинального напряжения, тока и системы вспомогательного двигателя. Номинальное напряжение и система возбуждения выбираются в зависимости от имеющихся в наличии источников питания.

Для обеспечения более устойчивой работы схемы целесообразнее в качестве двигателя использовать машину с независимым или параллельным возбуждением, обладающую меньшей зависимостью скорости вращения от случайных изменений тока и напряжения.

В качестве таких машин могут быть использованы двигатели общепромышленного применения серии ПН. В ряде случаев используют тяговые двигатели.

Выбор нагрузочного генератора. Выбор нагрузочного генератора для испытания машин постоянного тока. При выборе нагрузочного генератора необходимо определить его параметры по скорости вращения и мощности.

Определение номинальной скорости вращения нагрузочного генератора. Номинальная скорость вращения определяется, исходя из условий обеспе-

чения максимальной испытательной скорости вращения испытуемой машины

$$n_{\text{н. нг}} = 0{,}835 n_{\text{макс.им}}.$$

Определение номинальной мощности нагрузочного генератора. Номинальная мощность определяется, исходя из условий обеспечения максимальной перегрузки испытуемой машины. В соответствии с ГОСТ 2582—50 максимально допустимая перегрузка по току для вспомогательных машин равна 150%, т. е. при 10%-ном запасе

$$I_{\text{н. нг}} = 1{,}07\, I_{\text{н. им}}.$$

Генератор должен обеспечить нагрузочный момент испытуемой машины при указанной выше перегрузке по току. В первом приближении можно считать, что при независимом возбуждении отношение максимального и минимального моментов равно отношению токов, тогда

$$M_{\text{н. нг}} = 1{,}07\, M_{\text{н. им}}.$$

Номинальный момент испытуемой машины равен

$$M_{\text{н. им}} = C\, \frac{P_{\text{н. им}}}{n_{\text{н. им}}},$$

тогда

$$M_{\text{н. нг}} = 1{,}07 C\, \frac{P_{\text{н. им}}}{n_{\text{н. им}}}.$$

Отсюда

$$P_{\text{н. нг}} = \frac{M_{\text{н. нг}}\, n_{\text{н. нг}}}{C} = 0{,}9\, \frac{n_{\text{макс. им}}}{n_{\text{п. им}}}\, P_{\text{н. им}}.$$

Иногда один нагрузочный генератор используется для испытания нескольких машин с различными параметрами. В этом случае номинальная скорость его выбирается по скорости вращения самой быстроходной из испытуемых машин. Отношение максимальной испытуемой скорости вращения к номинальной также берется максимальным, а в качестве номинальной мощности испытуемой машины выбирается мощность самой мощной машины.

Выбор нагрузочного генератора для испытания машин переменного тока (трехфазных асинхронных). При выборе нагрузочного генератора в этом случае необходимо определить его номинальные данные по скорости вращения и мощности.

Определение номинальной скорости вращения

$$n_{\text{н. нг}} = n_{\text{с. им}},$$

где $n_{\text{с. им}}$ — синхронная скорость вращения испытуемой машины.

Определение номинальной мощности испытуемой машины. Как известно, для асинхронных короткозамкнутых двигателей

кратность максимального момента к номинальному в первом приближении может быть принята 2. Тогда, с учетом ухудшения условий охлаждения при снижении скорости вращения нагрузочного генератора

$$P_{\text{н. нг}} = 2P_{\text{н. им}}.$$

В качестве генератора, как правило, используются машины серий ПН и ГП. По системе возбуждения генератор может быть выполнен как с параллельным, так и с независимым возбуждением. Параллельное возбуждение, обеспечивающее возможность нагружения в рабочем диапазоне нагрузок, при выборе нагрузочных сопротивлений с учетом условий самовозбуждения нагрузочного генератора, не обеспечивает равномерности нагрузки при пусках. Тем не менее оно является более простым и не требует источника питания возбуждения.

С точки зрения обеспечения широты и плавности регулировки нагрузки лучшим вариантом является применение независимого возбуждения.

Выбор генератора подпитки. При выборе генератора подпитки необходимо определить его параметры по напряжению и току.

Определение номинального тока. Номинальный ток должен быть выбран таким, чтобы при прохождении в обмотке добавочного полюса тока, равного алгебраической сумме токов генератора подпитки и якоря испытуемой машины, качество коммутаций было недопустимым (класс 2 или 3).

Для мощных высоковольтных машин (тяговые двигатели, главный генератор) указанное условие выполняется обычно при

$$I_{\text{н. гп}} = (0{,}2 \div 0{,}4)\, I_{\text{н. им}}.$$

Для высоковольтных машин небольшой мощности и низковольтных машин (вспомогательные машины, возбудители и т. д.) указанное условие выполняется обычно при

$$I_{\text{н. гп}} = (0{,}4 \div 0{,}8)\, I_{\text{н. им}}.$$

Определение номинального напряжения. Номинальное напряжение должно обеспечивать возможность получения в режиме подпитки тока $I_{\text{н. гп}}$ при двойной перегрузке испытуемой машины

$$U_{\text{н. гп}} = R_{\text{д.им}}\, (2I_{\text{н. им}} \div I_{\text{н. гп}}).$$

Для мощных высоковольтных машин

$$U_{\text{н. гп}} = (2{,}2 \div 2{,}4)\, I_{\text{н. им}}\, R_{\text{д. им}}.$$

Для высоковольтных машин небольшой мощности и низковольтных машин

$$U_{\text{н. гп}} = (2{,}4 \div 2{,}8)\, I_{\text{н. им}}\, R_{\text{д. им}}.$$

В качестве генератора подпитки используются ненасыщенные машины с независимым возбуждением серий ПН и ГП.

Выбор источников питания испытательных станций аппаратов. Источники питания стендов тепловых испытаний аппаратов. Эти источники питания выбираются по величине потерь, нагревающих аппарат, причем напряжение источника питания должно быть равно падению напряжения в аппарате при горячей обмотке, а ток $I = 1{,}5 I_н$, тогда

$$U_{нп} = 1{,}5\, I_н\, r_г,$$

$$P_{ип} = 2{,}25\, I_н^2\, r_г.$$

В соответствии с изложенным, обычно в качестве источников питания для испытания силовых аппаратов применяют многоамперные, низковольтные генераторы постоянного тока и трансформаторы (автотрансформаторы).

Для испытания аппаратуры цепей управления выбирают генераторы и источники питания переменного тока в соответствии с их номинальными данными так, чтобы источник питания обеспечивал перегрузку по току в полтора раза по сравнению с номинальным. Следует особо отметить, что проведение тепловых режимов аппаратов в большинстве случаев должно производиться на том роде тока (постоянном, переменном, пульсирующем), на котором аппарат работает в эксплуатации.

В некоторых случаях, в частности, при проведении испытаний пусковых сопротивлений большой мощности, источник питания может быть взят с другим родом тока. Пользоваться этим условием необходимо с максимальной осторожностью.

Источники питания стендов для снятия характеристик аппаратов. Источники питания в этом случае выбирают строго в соответствии с родом тока, при котором нормально эксплуатируется испытуемый аппарат. Номинальные данные источника питания выбирают так, чтобы при испытаниях была обеспечена возможность двойной перегрузки испытуемого аппарата по току и перегрузки на 30—40% по напряжению.

В качестве источников питания применяют генераторы постоянного тока, сеть переменного тока, автотрансформаторы, трансформаторы, выпрямительные агрегаты.

Источники питания стендов коммутационных испытаний. Для питания аппаратуры постоянного тока при коммутационных испытаниях применяются генераторы постоянного тока и ртутновыпрямительные агрегаты. Испытания аппаратуры переменного тока обычно осуществляются от сети переменного тока.

Ввиду того что при коммутационных испытаниях, как правило, необходима значительная мощность при малой длительности испытаний, оказывается в ряде случаев невозможным или нецелесообразным проводить испытания при допустимых перегрузках питающих генераторов, так как в этом случае резко возрастает установленная мощность оборудования. Сбычно коммутационные испыта-

ния проводят в режиме коротких замыканий источников питания. Это налагает особые требования к защите питающих генераторов, которая должна обеспечивать безусловный разрыв установившегося тока короткого замыкания в случае выхода из строя испытуемого аппарата.

Следует иметь в виду, что максимальный ток, при котором производятся испытания, должен быть равен 75—80% установившегося тока короткого замыкания питающих генераторов, определяющегося параметрами системы питания. Расчет токов короткого замыкания в рассматриваемом случае ведется общепринятым методом.

В некоторых случаях питание стендов коммутационных испытаний аппаратов постоянного тока производят от источников переменного тока пониженной частоты (3—5 *гц*). Это в значительной степени облегчает режим работы питающих генераторов, но осложняет методику проведения испытаний и требует специального оборудования.

Выбор аппаратуры испытательных станций. Аппаратура испытательных станций выбирается, исходя из максимальных испытательных режимов по току и напряжению, таким образом, чтобы эти режимы были номинальными для аппаратуры станции. Это приводит в большинстве случаев к необходимости использования в цепях постоянного тока тяговой аппаратуры. Цепи переменного тока снабжаются аппаратурой общепромышленного применения.

Высоковольтные переключатели, разъединители, регулировочные реостаты и т. д. в большинстве случаев приходится специально конструировать применительно к конструкциям и оборудованию станции и изготовлять силами организации, монтирующей испытательную станцию.

§ 34. Конструкция стендов испытательных станций

Планировка испытательных станций. При наличии одного или двух стендов целесообразно на территории испытательной станции устанавливать питающие генераторы.

При нескольких стендах на испытательной станции или нескольких испытательных станциях более целесообразна установка питающих генераторов в одном специально созданном машинном зале, который может располагаться либо в непосредственной близости от испытательной станции, либо вдали от нее. Управление и регулировка питающих генераторов должны осуществляться непосредственно со стендов.

Планировка испытательных станций должна обеспечивать удобство наблюдения за испытуемым объектом и безопасность проведения работ. Выбор размеров проходов осуществляется на основании действующих правил для установок общепромышленного применения соответствующего напряжения.

На рис. 109 представлена планировка испытательной станции электрических машин, получающей питание от генераторов по-

стоянного тока, установленных в машинном зале; напряжение подается на распределительный щит постоянного тока и затем стендам. В распределительном щите размещены коммутационная аппаратура стендов, силовые сопротивления, аппаратура управления и т. д.

Распределительный щит переменного тока получает питание от подстанции. От него питаются стенды испытания вспомогательных машин переменного тока и собственные нужды испытательной станции.

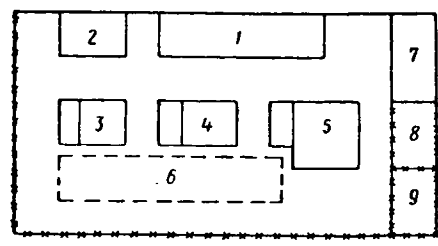


Рис. 109. Планировка испытательной станции электрических машин:

1 — распределительный щит постоянного тока; *2* — распределительный щит переменного тока; *3* — стенд испытания вспомогательных машин переменного тока; *4* — стенд испытания вспомогательных машин постоянного тока; *5* — стенд испытания тяговых двигателей постоянного тока; *6* — площадка для подготовки машин к испытаниям; *7* — контора; *8* — стенд для испытания электрической прочности изоляции; *9* — площадка для установки машин при испытании электрической прочности изоляции

Каждый стенд снабжен пультом управления, с которого осуществляется управление коммутационной аппаратурой и питающими генераторами во время испытаний. Вдоль испытательных стендов располагается площадка для подготовки машин к испытаниям. На этой площадке производится проверка машин на холостом ходу, замер биений, внешний осмотр, посадка и снятие соединительных муфт и др.

На территории испытательной станции расположена установка для испытаний электрической прочности изоляции и имеется площадка для установки машин во время этих испытаний. Указанная установка дополнительно ограждается.

Планировка испытательных станций аппаратов отличается от планировок испытательных станций электрических машин, так как испытательные станции аппаратов, как правило, имеют стенды значительно более простой конструкции, а источники питания располагаются в непосредственной близости от этих стендов, на территории испытательной станции.

В некоторых случаях при необходимости для испытаний источников энергии значительной мощности их располагают вдали от испытательной станции, а к ней делается отдельный ввод.

Испытательные станции аппаратов имеют стенды, которые делятся по своему назначению по отдельным видам аналогичных аппаратов и по отдельным видам испытаний.

Конструкция стендов испытания машин. Крепление испытуемых машин на стендах. Нагружение и значительные механические силы, возникающие при вращении испытуемых машин, приводят к необходимости установки на стендах массивных оснований, к которым крепятся объекты испытаний.

Так как машины устанавливают на стенд только на период испытаний, должна быть обеспечена возможность их быстрой установки и снятия.

На электроподвижном составе наибольшее распространение получили крепления приводов на рамах и каркасах при горизонтальном и вертикальном расположении машин (вспомогательные машины постоянного и переменного тока, тяговые двигатели при независимом подвешивании), а также подвешивание на специально предусмотренных выступающих частях (тяговые двигатели при моторно-осевом подвешивании). На стенд для испытания вспомогательных машин и тяговых двигателей, закрепляемых на рамах и каркасах, эти машины устанавливают на плитах в виде чугунных отливок, снабженных пазами для крепления машин. На этих же плитах крепятся при необходимости и нагрузочные генераторы. Плиты стенда укрепляются посредством анкерных болтов к фундаментам, размеры которых зависят от массы вращающихся частей и точности установки машины, определяющих динамические нагрузки на фундамент (рис. 110).

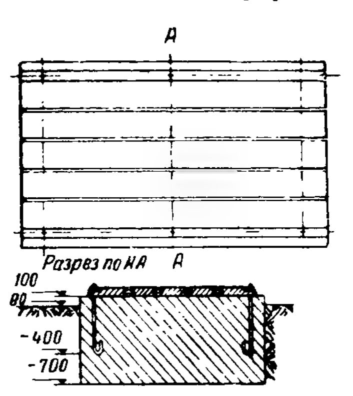


Рис. 110. Фундамент стенда вспомогательных машин электровозов

Стенды тяговых двигателей с моторно-осевым подвешиванием обычно снабжаются специальными конструкциями для их крепления. На рис. 111 представлен общий вид такого стенда, который имеет стойки *1*, укрепленные на чугунной фундаментной плите. На стойках скобами *2* укреплен вал *3*, имеющий утолщения в месте установки моторно-осевых подшипников двигателя. На эти утолщения двигатель опирается своими моторно-осевыми подшипниками и закрепляется при помощи накладок *4*. В некоторых случаях для укрепления используют буксовые шапки двигателя. Задним выступом двигатель опирается на стойку *5*, нижняя часть которой также укреплена на фундаментной плите, а верхняя может перемещаться при помощи винтового провода относительно нижней по наклонным направляющим. Такая конструкция облегчает установку машин на стенде. Аналогично устанавливается и вспомогательный двигатель *6*, если в качестве его используется тяговый двигатель.

Сочленение испытуемых машин друг с другом, вспомогательным двигателем и нагрузочным генератором. Сочленение машин при испытаниях обычно осуществляется с помощью полужестких муфт, конструкция которых для соединения электровозных тяговых двигателей мощностью до 1 000 *квт* представлена на рис. 112. Малая полумуфта (рис. 112, *а*) насаживается на вал двигателя и закрепляется на нем с помощью шпонки и гайки, в ее теле расточены отверстия под пальцы большой полумуфты. Большая полумуфта (рис. 112, *б*) снабжена пальцами с надетыми на них резиновыми шайбами или втулками. Пальцы имеют конусную посадочную по-

верхность и крепятся гайками. Большая полумуфта насажена на втулку и укрепляется на ней шпонками и фиксирующими болтами. В осевом направлении предусмотрена возможность перемещения полумуфты по втулке, что обеспечивает возможность разъединения машин. Втулка укрепляется на валу машины аналогично малой полумуфте.

В некоторых случаях для соединения машин применяются карданные муфты, шестерни и т. д.

Соединение вспомогательных машин осуществляется аналогично соединению тяговых двигателей.

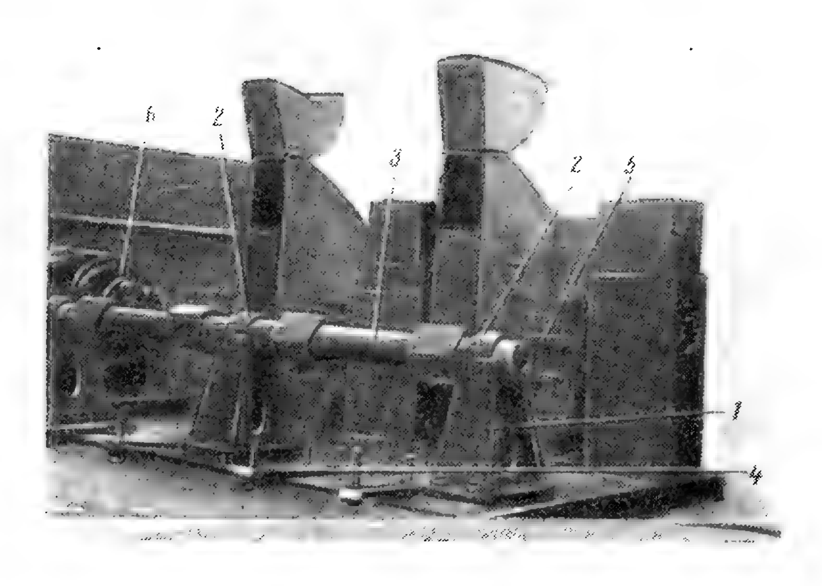


Рис. 111. Стенд испытания тяговых двигателей

Распределительные щиты и пульты управления. Распределительные щиты и пульты управления выполняются отдельно в случае универсальных испытательных станций со значительным количеством стендов и источников питания; в специализированных стендах распределительный щит обычно совмещают с пультом управления.

Распределительные щиты и пульты управления представляют собой конструкции с каркасами из профильного металла (уголки, швеллеры и т. д.), закрытые сверху листовой сталью. Конструкции каркасов определяются габаритами и видом аппаратуры, которая на них монтируется. Конструкции стендов должны обеспечивать удобство работы, так как от этого в значительной мере зависят точность испытаний и безопасность работы.

Для распределительных щитов переменного тока в ряде случаев применяют стандартные конструкции, выпускаемые промышленностью.

Конструкции стендов аппаратов. Ввиду того что аппараты обладают сравнительно небольшим весом, стенды для их испытаний не следует оборудовать специальными фундаментами. При испытаниях аппараты обычно укрепляют на каркасах или устанавливают на стеллажах так же, как в эксплуатационных условиях. Как правило, эти стенды имеют пульты управления, совмещенные с распределительными щитами, конструкции которых выполняют аналогично распределительным щитам испытательных станций машин.

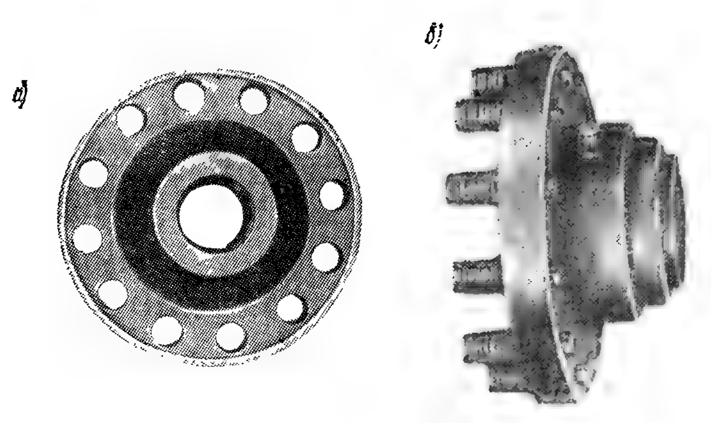


Рис. 112. Муфта соединения тяговых двигателей

Вентиляционные установки. При испытаниях электрических машин и аппаратов используются два вида вентиляционных установок:

измерительные — для снятия зависимости количества вентилирующего воздуха от статического напора;

вспомогательные — для обеспечения испытуемого объекта вентилирующим воздухом, количество которого определяется путем использования зависимости, снятой на измерительной установке.

Во всех случаях с точки зрения повышения точности испытания предпочтительно иметь измерительные установки, однако, ввиду их значительных габаритных размеров это не всегда оказывается возможным.

Измерительные установки выполняются в соответствии с Правилами 27—54 по применению и проверке расходомеров с нормальными диафрагмами, соплами и трубами Вентури. Определение количества воздуха производится по падению напора на дроссельной шайбе (см. гл. IV).

Выбор конструктивных параметров установки производится в такой последовательности.

Определение геометрических размеров воздухопровода. Для создания измерительной установки, обеспечивающей определенную точность измерений, в ней должно быть соблюдено гидродинамическое подобие, критерием которого является число Рейнольдса — Re, определяющее собой отношение

сил инерции к силам вязкости потока. Для одного и того же дроссельного устройства коэффициент расхода зависит от Re до определенной величины $Re = Re_{пр}$, после чего он сохраняет свою величину постоянной. Это справедливо для дроссельных шайб определенной конфигурации и при гладкой поверхности трубы.

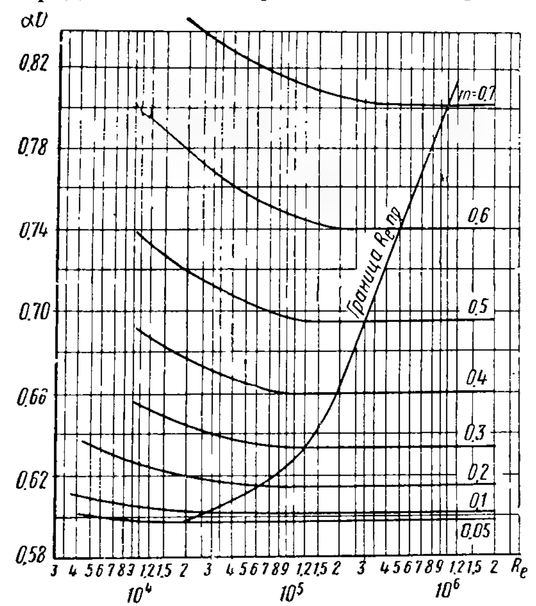


Рис. 113. Зависимость исходного коэффициента расхода диафрагмы от числа Рейнольдса

Определение числа Рейнольдса производится по формуле:

$$Re = \frac{v_{ср} D}{\nu},$$

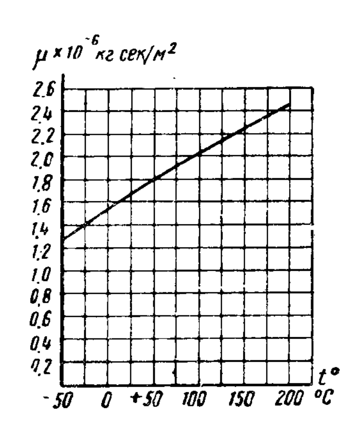


Рис. 114. Зависимость динамической вязкости воздуха от температуры

где $v_{ср}$ — средняя скорость потока по сечению трубы в *м/сек*;
D — диаметр трубопровода в *м*;
$\nu = \frac{\mu}{\rho}$ — кинематическая вязкость в рабочих условиях в *м²/сек*;
μ — динамическая вязкость в рабочих условиях в *кг/сек/м²*;
ρ — плотность измеряемой среды в *кг/сек²/м³*.

На рис. 113 представлена зависимость исходного коэффициента расхода диафрагм $\alpha_и$ от числа Рейнольдса при постоянном отношении площадей диафрагмы и трубопровода $m = \left(\frac{d}{D}\right)^2$ и рабочей температуре.

На рис. 114 представлена динамическая вязкость воздуха при нормальном давлении в зависимости от температуры. Диаметр воздухопровода выбирают таким образом, чтобы при минимальном количестве воздуха, которое необходимо измерить при данном m, величина Re была равна или больше, чем $Re_{пр}$.

Длину трубы выбирают из следующих соображений: прямой участок за дроссельной шайбой должен быть не менее 5 D, прямой участок перед дроссельной шайбой l_1 в зависимости от m и допустимой величины дополнительной погрешности σ в соответствии с рис. 115.

Геометрические размеры нормальной диафрагмы выбираются в соответствии с рис. 116 при измерении статических давлений через кольцевые камеры. Для надежного выравнивания давления в кольцевой камере, установленной в воздухопроводе диаметром до 200 *мм*, необходимо, чтобы площадь продольного

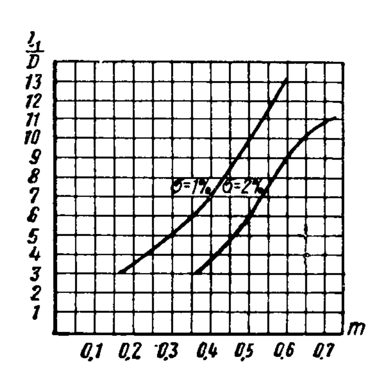


Рис. 115. Зависимость $\frac{l_1}{D}$ от m

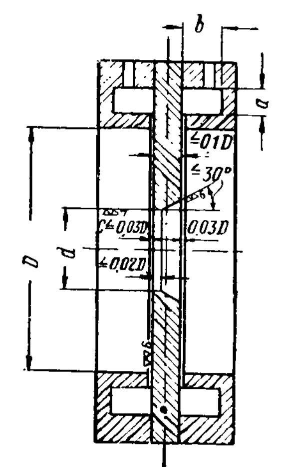


Рис. 116. Нормальная диафрагма

сечения камеры была больше или равна площади кольцевой щели; при диаметрах свыше 200 *мм* достаточно, чтобы указанная площадь была не меньше половины площади кольцевой щели, т. е. при

$$D \leqslant 200 \text{ мм } a \times b \geqslant \pi Dc, \text{ при } D > 200 \text{ мм } a \times b > \frac{1}{2} \pi Dc.$$

Выбор величины диаметра дроссельной шабы d производится в зависимости от имеющихся приборов для измерения потери напора в ней так, чтобы обеспечить необходимый диапазон измерений. В некоторых случаях приходится применять набор дроссельных шайб различного диаметра.

Вентилятор, питающий измерительную установку, выбирается исходя из того, чтобы он по своим характеристикам мог обеспечить необходимое количество воздуха и напор на измерительной установке и объекте испытаний. Вентиляционный расчет установки производится общепринятыми методами.

Вспомогательные установки выполняются в соответствии с конструкцией вентилируемого объекта. Их выбор производится на основании вентиляционного расчета, выполненного общепринятыми методами. При этом расчете следует иметь в виду, что обеспечение вентилирующим воздухом должно производиться с учетом полуторакратного запаса.

В ряде случаев выпускаемые промышленностью вентиляторы не соответствуют параметрам вентиляционных систем. В этих случаях можно использовать последовательное и параллельное соединение нескольких вентиляторов. При последовательном соединении возрастает напор, при параллельном — количество охлаждающего воздуха.

Сопротивления. Сопротивления в цепи возбуждения электрических машин. Необходимость широкого диапазона регулировки токов цепей возбуждения машин при испытаниях требует установки в этих цепях регулируемых сопротивлений. В качестве таких сопротивлений используют стандартные реостаты со ступенчатым регулированием, ползунковые и т. д. В ряде случаев универсальные реостаты не обеспечивают необходимой регулировки как по величине сопротивления, так и по току, и возникает необходимость выполнять специальные реостаты.

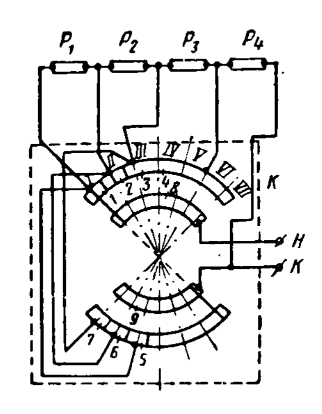


Рис. 117. Схема силового реостата

Одной из возможных конструкций таких реостатов является конструкция, состоящая из металлической трубы, покрытой асбобумагой, на которую навито сопротивление из круглой проволоки (нихромовой, фехралевой или константановой).

Для прочности проволока заливается жидким стеклом. По поверхности намотки при помощи винта с насаженной на него ручкой, перемещается движок. Реостат наматывается из проволоки разного сечения, что позволяет значительно сократить его габаритные размеры при сохранении величины полного сопротивления и максимально допустимого тока.

Постоянно включенные регулируемые сопротивления (демпферные, пусковые и т. д.) большой мощности обычно выполняются из элементов типов СЖ, КФ или ПП, используемых на электроподвижном составе.

При малых мощностях используются сопротивления—трубки ТС.

Силовые нагрузочные сопротивления. В качестве этих сопротивлений также применяются элементы типов СЖ и КФ, которые имеют отпаянные выводы на коммутатор. Для лучшего использования тепловой мощности сопротивлений они в ряде случаев включаются по специальным схемам, принцип построения которых пояснен на рис. 117. От секций реостата P_1—P_4 выведены концы на коммутатор *К*, где они подсоединены к пластинам *1—4*.

Пластины *1—5*, *2—6*, *3—7* соединены перемычками. Выводы реостата сделаны на пластинах *8*, *9*.

Движок реостата имеет два скользящих контакта, один из которых перемыкает пластины *1*, *2*, *3*, *4* с пластиной *8*, другой — пла-

стины *5*, *6*, *7* с пластиной *9*. Цепь реостата замыкается следующим образом:

при установке движка в положении *I*, *II*, *III*, *IV* соответственно последовательно соединяются реостаты P_1, P_2, P_3, P_4; P_2, P_3, P_4; P_3, P_4, P_4.

При установке движка в положении V параллельно секции P_4 включаются последовательно соединенные секции P_1, P_2, P_3. В положении VI параллельно сопротивлению P_4 включены последовательно соединенные сопротивления P_2, P_3 и т. д. В тех случаях, когда в силовом реостате необходимо гасить мощность порядка 1 000 *квт* и более, применяют водяные реостаты, представляющие собой металлические сосуды с водой, в которую опущены пластинчатые электроды. Глубиной погружения электродов и составом воды (растворением в ней бóльших или меньших количеств поваренной соли) можно регулировать величину сопротивления реостата. Водяные реостаты требуют тщательного ухода в эксплуатации, больших площадей для установки и устройства принудительной вентиляции. Величина сопротивления реостатов этого типа недостаточно стабильна.

§ 35. Испытательные станции электрических машин и аппаратов завода

Испытательные станции рассчитаны на проведение контрольных, типовых наладочных испытаний и исследовательских работ по тяговым электрическим машинам и аппаратам электровозов. В соответствии с этими задачами разработаны схемы, выбрано оборудование и выполнены конструкции станций.

Испытательная станция электрических машин. Станция рассчитана на проведение испытаний тяговых двигателей различных типов при питании постоянным и пульсирующим напряжением, вспомогательных машин постоянного тока, вспомогательных машин переменного тока. В соответствии с этим на территории станции имеются стенды: для испытаний тяговых двигателей, вспомогательных машин постоянного тока, вспомогательных машин переменного тока.

Питание испытательной станции осуществляется от генераторов постоянного тока, расположенных в отдельном машинном зале, и от распределительной подстанции переменного тока.

Энергоснабжение испытательной станции. Энергоснабжение станции осуществляется от машинного зала, принципиальная схема которого представлена на рис. 118 (см. вклейку стр. 207).

Как видно из схемы, силовые фидеры всех питающих генераторов выведены на силовой коммутатор, расположенный на распределительном щите испытательной станции, к которому сделаны выводы от стендов. С помощью коммутатора каждый из питающих генераторов может быть включен на любой вывод того или иного стенда.

На силовом коммутаторе при необходимости осуществляется последовательное или параллельное соединение генераторов и заземление их концов.

Концы цепи возбуждения генераторов или их возбудителей выведены на распределительный щит и коммутатор возбуждения. К коммутатору возбуждения выведены также и выводы регулировочных реостатов стендов. Переключением на коммутаторе возбуждений можно обеспечить регулирование напряжения любого генератора с каждого стенда.

От распределительного щита переменного тока машинного зала подано питание на установку пульсирующего напряжения, которая представляет собой комплекс оборудования ртутновыпрямительного агрегата электровоза типа НО.

Силовые выводы выпрямленного напряжения подведены, как и всех силовых генераторов, на силовой коммутатор. Силовые выводы переменного тока при использовании трансформатора установки в качестве источника питания переменного тока большой мощности с регулируемым напряжением поданы непосредственно на стенд испытания вспомогательных машин. Туда же поданы выводы от обмотки собственных нужд.

Питание цепей управления зажиганием выпрямителей осуществляется либо от обмотки собственных нужд трансформатора, либо от трехфазной сети через фазорегулятор. Это позволяет применить глубокое сеточное регулирование выпрямленного напряжения и тем самым увеличить диапазон и плавность его регулировки.

Энергоснабжение стенда переменного тока и собственных нужд испытательной станции осуществляется от щита переменного тока имеющего фидерный ввод от распределительной подстанции.

С т е н д и с п ы т а н и я т я г о в ы х д в и г а т е л е й. Стенд рассчитан на испытания высоковольтных машин мощностью до 1 000 *квт*. Ввиду различных габаритов объектов испытаний на стенде предусмотрена возможность перемещения конструкций (стоек) и создана универсальная система принудительного охлаждения. Стенд снабжен вспомогательным двигателем и пультом управления.

Принципиальная схема стенда представлена на рис. 119, на которой не приведена часть, относящаяся к включению вспомогательного двигателя, так как она аналогична приведенной на рис. 101. Схема позволяет производить нагружение тяговых двигателей методом взаимной нагрузки и методом непосредственного нагружения при использовании 2-й машины в качестве нагрузочного генератора.

Коммутационная аппаратура стенда, нагрузочные сопротивления, сопротивления ослабления поля и т. д. расположены в распределительном щите. Реостаты регулирования возбуждения вмонтированы в пульт управления. Прецизионные приборы устанавливаются в пульте управления.

С т е н д и с п ы т а н и я в с п о м о г а т е л ь н ы х м а ш и н п о с т о я н н о г о т о к а. Стенд рассчитан на испытания

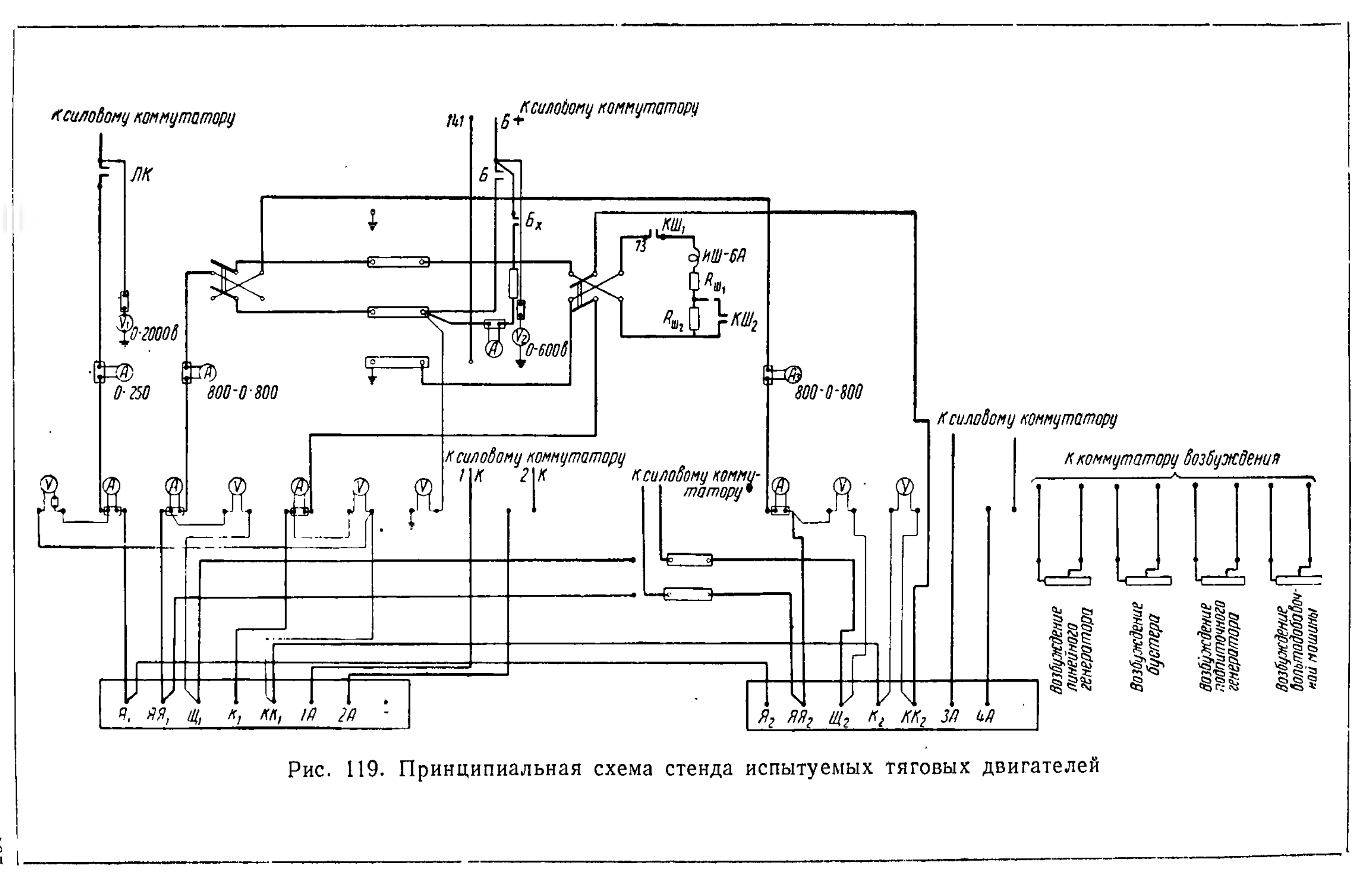


Рис. 119. Принципиальная схема стенда испытуемых тяговых двигателей

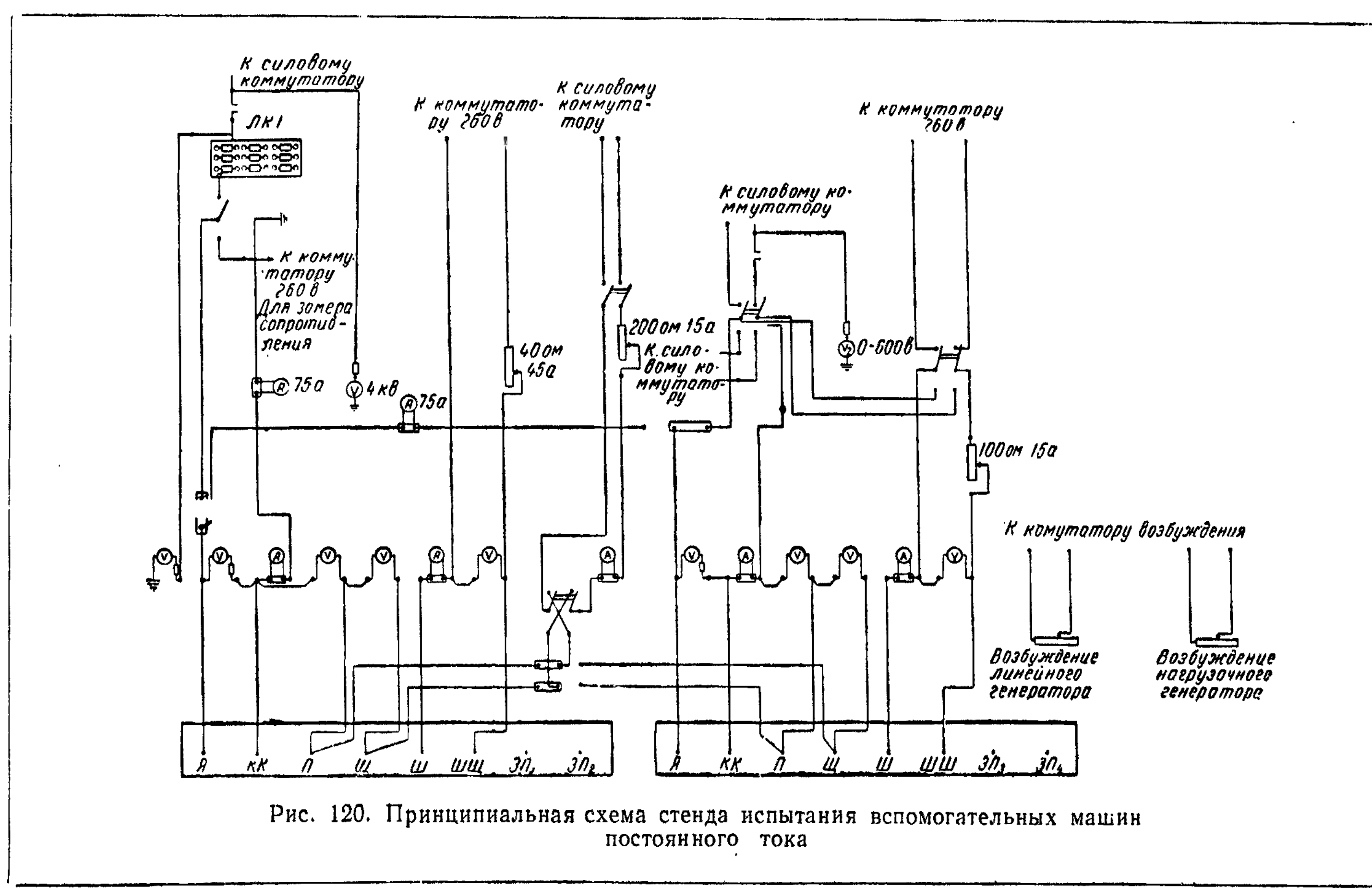


Рис. 120. Принципиальная схема стенда испытания вспомогательных машин постоянного тока

высоковольтных и низковольтных машин мощностью до 100 *квт* и снабжен сменными нагрузочными генераторами и пультом управления. Принципиальная схема стенда, представленная на рис. 120, позволяет производить нагружение методами непосредственной и взаимной нагрузки.

Испытуемые машины могут иметь любую систему возбуждения (последовательное, параллельное, независимое, смешанное). Коммутационная аппаратура, добавочные и нагрузочные сопротивления расположены в распределительном щите. Реостаты регулирования возбуждений смонтированы в пульте управления.

Стенд испытания вспомогательных машин переменного тока. Стенд рассчитан на проведение испытаний асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, конденсаторных двигателей, асинхронных и синхронных расщепителей фаз и оборудован двумя потенциал-регуляторами, сменными нагрузочными генераторами и пультом управления.

Нагружение испытуемых машин осуществляется методом непосредственной нагрузки, максимальная мощность испытуемых машин 200—250 *ква*.

Принципиальная схема стенда представлена на рис. 121.

Коммутационная аппаратура, сопротивления и емкости расположены в распределительных щитах постоянного и переменного тока, а также на установке пульсирующего напряжения.

Стенд для вентиляционных испытаний тяговых двигателей. Стенд представляет собой две металлические трубы диаметром 500 *мм*, длиной 3,6 и 4,0 *м* каждая соответственно, в месте соединения труб смонтированы салазки для установки дроссельных шайб. Со стороны длинной трубы установлен вентилятор типа ЦВ-01, приводимый во вращение двигателем типа ДК-403Г. Скорость вращения двигателя регулируется изменением напряжения на его зажимах. С другой стороны трубы устанавливается испытуемая машина и соединяется с трубой патрубком.

Испытательные станции аппаратов. Станции рассчитаны на проведение всего комплекса экспериментальных испытаний по аппаратуре электровозов постоянного и переменного тока.

Указанная задача выполняется комплексом испытательных станций, состоящим из:

станции малогабаритных аппаратов;

станции крупногабаритных аппаратов;

станции испытания сопротивлений;

станции коммутационных испытаний аппаратов (лаборатории разрывных мощностей);

вибростендов.

Испытательная станция малогабаритных аппаратов. Эта станция снабжена тремя универсальными стендами, имеющими следующее основное оборудование:

Стенд № 1: автотрансформатор с пределами регулирования 0—3 *в*, 0—500 *а*; автотрансформатор с пределами регулирования 0—220 *в*, 0—5 *а*; автотрансформатор с пределами регулирования 0—400 *в*, 0—2,5 *а*; два генератора постоянного тока с номинальными данными U = 0—300 *в*, I = 0—15 *а*. Предусмотрено последовательное и параллельное включение этих генераторов, что дает пределы регулирования 0—600 *в*, 0—15 *а* и 0—300 *в*, 0—30 *а*; аккумуляторная батарея 12—60—120 *в*, 0—1,0 *а*; нагрузочный реостат 10 *а*.

Стенд № 2: генератор постоянного тока 0—6 *в*, 0—500 *а*; два генератора постоянного тока 0—300 *в*, 0—15 *а* с возможностью последовательного и параллельного соединений, пределами регулирования: 0—600 *в*, 0—15 *а* и 0—300 *в*, 0—30 *а*; два генератора постоянного тока 0—200 *в*, 0—1,5 *а* с возможностью последовательного и параллельного соединений, с пределами регулирования: 0—400 *в*, 0—1,5 *а* и 0—200 *в*, 0—3 *а*; ввод трехфазный 220—380 *в*, 0—30/0—15 *а*.

Стенд № 3: генератор постоянного тока 0—100 *в*, 0—180 *а*; генератор постоянного тока 0—6 /0—12 *в*, 0—1 500 /0—750 *а*; генератор постоянного тока 0—300 *в*, 0—15 *а*.

Испытательная станция крупногабаритных аппаратов. Эта испытательная станция снабжена следующими источниками питания: тремя генераторами постоянного тока 0—6/0—12 *в*, 0—5 000/0—2 500 *а*; генератором постоянного тока 0—100 *в*, 0—150 *а*; двумя генераторами постоянного тока 0—220 *в*, 0—110 *а*; четырьмя генераторами постоянного тока 0—220 /0—330 *в*, 0—11,5 *а*; генератором постоянного тока 50 *в*, 60 *а*; вводом переменного тока 380 *в*, 5 000 *а*; автотрансформатором 220 *в*, 1—10 *в*, 0—1 650 *а*; автотрансформатором 0—300/0—30 *в*.

Значительная мощность ввода на 380 *в* позволяет производить на испытательной станции коммутационные испытания аппаратуры переменного тока. На рис. 122 для примера приведен общий вид распределительного щита постоянного тока испытательной станции.

Испытательная станция пусковых сопротивлений. Предназначена для отработки конструкции пусковых сопротивлений с принудительным охлаждением. Оборудована вентиляционной установкой и следующими источниками питания: двумя генераторами постоянного тока 0—6, 6—12 *в*, 0—2 500/0—500 *а*; четырьмя генераторами постоянного тока 0—100 *в*, 0—150 *а*; двумя селеновыми выпрямительными установками 6 *в*, 0—600 *а*; вводом переменного тока 380 *в*/5 000 *а*.

Станция коммутационных испытаний аппаратов (лаборатория разрывных мощностей). Станция имеет вводы значительной мощности постоянного и переменного тока, а также ряд источников питания, расположенных на ее территории: ввод постоянного тока от тяговой подстанции, снабженной двумя ртутновыпрямительными агрегатами типа РМНВ 500 × 6; ввод переменного тока от отдельного трансформатора 380 *в*, 560 *ква*; мотор-генератора постоянного тока 0—12/0—6 *в*, 0—2 500/0—5 000 *а*,

мотор-генератора постоянного тока 0—100 *в*, 0—150 *а*; компрессор: Э-300.

Для возможности регулирования нагрузки как по величине, так и по характеру установлены нагрузочные сопротивления и реактор с возможностью изменения индуктивности.

Вибростенды. На соответствующих испытательных станциях установлены вибростенды, позволяющие проводить испытания различных видов аппаратов на виброустойчивость.

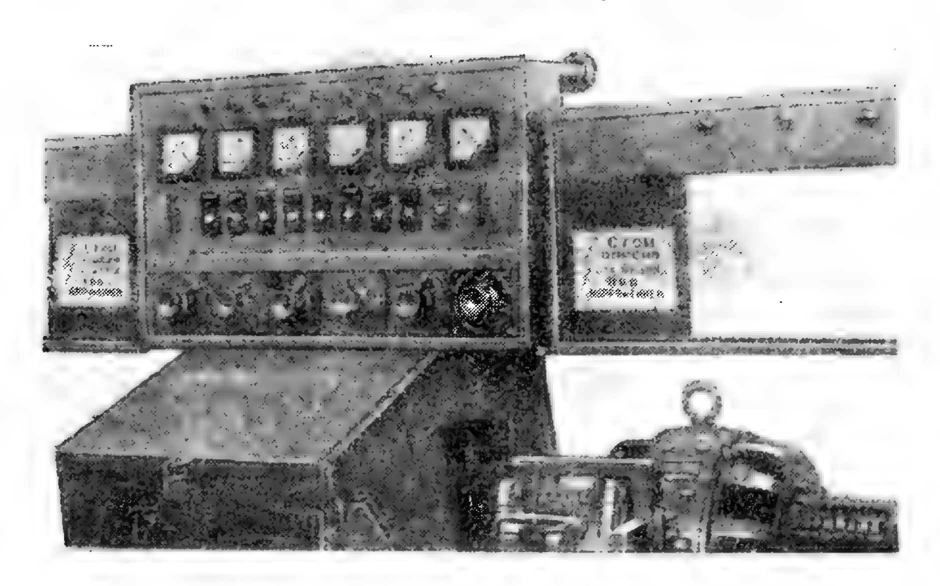


Рис. 122. Общий вид распределительного щита постоянного тока испытательной станции аппаратов

§ 36. Некоторые особенности испытательных станций депо

Испытательные станции депо должны обеспечивать возможность выполнения контрольных испытаний электрических машин и аппаратов.

В ряде случаев эти испытания могут выполняться не в полном объеме, обусловленном ГОСТами и техническими условиями, а по сокращенным программам, утвержденным Главным управлением локомотивного хозяйства МПС СССР.

Для выполнения указанных испытаний достаточно простейших испытательных станций, снабженных оборудованием, имеющимся в распоряжении депо. В частности, испытания вспомогательных машин электровозов могут производиться с питанием от контактной сети.

В этом случае последовательно с контактной сетью целесообразно включить (со стороны заземленного фидера) вольтодобавочную машину, способную компенсировать колебания напряжения.

В качестве нагрузки могут применяться те исполнительные механизмы, приводом которых служит испытуемая машина (вентиляторы, компрессоры, насосы и т. д.).

Также с питанием от контактной сети могут производиться и испытания тяговых двигателей по методу возвратной работы. В этом случае контактная сеть используется в качестве линейного генератора, а между ней и испытательной схемой включается регулируемое сопротивление.

В случае отсутствия напряжения сети, соответствующего номинальным данным испытуемых машин, могут применяться схемы, не требующие наличия линейного генератора.

При отсутствии генераторов, могущих служить вольтодобавочными машинами, возможно применение схем с шунтированием обмотки возбуждения одной из испытуемых машин или с независимым возбуждением ее.

Выбор схемы испытаний машин с нагружением их по методу возвратной работы должен производиться в каждом случае отдельно с учетом специфики предприятия на основании материалов, приведенных в § 30.

От контактной сети могут производиться испытания и ряда аппаратов электровозов и электросекций.

Испытания электрических машин и аппаратов тепловозов (кроме главного генератора) возможно проводить, смонтировав в депо силовую установку тепловоза или питая стенд от тепловоза.

Испытания главного генератора целесообразно производить при нагрузке на реостат.

В качестве реостата могут быть использованы бассейны или естественные водоемы.

Характерной особенностью испытательных станций депо является наличие на них минимального количества оборудования минимальной мощности, обеспечивающего возможность проведения узкого круга испытаний.

§ 37. Измерительная аппаратура

При испытаниях электрических машин и аппаратов применяются в основном методы непосредственных измерений и косвенные. К методам непосредственных измерений относятся, например, измерения тока, напряжения, мощности, к методам косвенных измерений — измерения сопротивления по показаниям амперметра и вольтметра и т. п.

При проведении испытаний электрических машин и аппаратов, как правило, применяются приборы классов 1 и 0,5. Система приборов выбирается в зависимости от рода измеряемой величины и допустимого с точки зрения обеспечения точности испытаний потребления энергии прибора. Пределы измерений при этом выбираются таким образом, чтобы отсчет при испытаниях производился на последней трети шкалы прибора.

В практике испытаний наибольшее распространение получили:

Для измерения в цепях постоянного тока — приборы магнитоэлектрической системы, причем амперметры применяются с наборами шунтов на 75 *мв*, от 0,15 до 1 500 *а* и вольтметры с наборами добавочных сопротивлений от нескольких милливольт до 4 000 *в*. В ряде случаев добавочные сопротивления встроены в измерительный прибор, и он при этом имеет несколько пределов изменений. К таким приборам относятся амперметры типов М-45 (класс точности 1), ЛМ-1 (класс точности 0,5) и т. п.; вольтметры типов М-45 (класс точности 1,0), М-106 (класс точности 0,5) и т. д.

Для измерения в цепях переменного тока используются приборы электромагнитной системы, причем амперметры применяются с трансформаторами тока до 2 000 *а* и вольтметры с трансформаторами напряжения до 500 *в*. Наиболее часто применяются: амперметры типа АСТ-А (класс точности 0,5) с трансформаторами тока УТТ-5, УТТ-6, вольтметры типа АСТ-В (класс точности 0,5) с универсальными трансформаторами напряжения УТН, ваттметры типа АСТД (электродинамическая система, класс точности 0,5).

Для измерения сопротивлений применяются измерительные мосты типов МТ-5, ММВ и т. д.

При необходимости разнородных измерений небольшой точности применяют универсальные приборы — ампер-вольтметры типов Т1-1, Ц-315 и т. д.

Измерение скорости вращения осуществляется при помощи тахометров типов 9ЧП, ИО-11 и т. д.

При пользовании указанными приборами следует строго следить за соответствием их классу точности путем периодических проверок. Перед началом испытаний необходимо каждый раз проверять установку приборов на нуль.

§ 38. Правила работы на испытательных станциях

При работе на испытательных станциях тяговых электрических машин и аппаратов необходимо неукоснительно соблюдать Временные правила электробезопасности для персонала испытательных станций, участков и лабораторий предприятий и научно-исследовательских институтов Министерства электротехнической промышленности, 1956 г.

Следует отметить, что основным условием, обеспечивающим безопасность, является высокая дисциплина и квалификация обслуживающего персонала, знание им оборудования, схем испытательных станций и объектов испытаний. Все работники испытательных станций должны иметь соответствующую квалификационную группу на право работы в установках высокого напряжения.

Особое значение на испытательных станциях приобретает поддержание чистоты рабочего места и отсутствие захламленности.

Кроме изложенного, обязательным условием при работе является выполнение нижеприведенных правил проведения работ:

перед началом испытаний объект испытаний подвергается тщательному внешнему осмотру и проверке электрической прочности изоляции;

оборудование выбирается так, чтобы оно по своим номинальным параметрам обеспечивало испытательные режимы без недопустимых перегрузок;

проверяется правильность выбора и включения приборов (по типу, пределам измерений, полярности включения, классу точности, роду тока, прочности изоляции, дате последней проверки), причем все измерительные приборы должны быть включены со стороны заземления;

проверяется руководителем работ схема соединений;

проверяется исправность оборудования (муфт, реостатов, коммутирующей аппаратуры и т. д.). Проведение испытаний при неисправном оборудовании испытательной станции категорически запрещается;

проверяется правильность выбора сечений и изоляции проводов. Все соединительные провода должны быть с наконечниками;

соединение амперметров с шунтами необходимо производить только калиброванными проводами;

должны быть выставлены ограждения и вывешены плакаты, обеспечивающие безопасность проведения работ;

проверяется исправность блокировок безопасности;

объект испытаний должен быть расположен так, чтобы находящиеся под напряжением части находились со стороны, противоположной ходу, и был обеспечен его удобный обзор;

должны быть изолированы все места соединения проводов;

заземляются все части испытуемого объекта, заземленные при нормальной его работе.

Во время испытаний категорически запрещается оставлять без присмотра находящуюся под напряжением схему, производить какие-либо операции с испытательным объектом, а также переключения в силовой и измерительных цепях под напряжением, включать и отключать коммутационную аппаратуру, не убедившись предварительно в правильности схемы или не зная ее состояния; для включения и выключения силовых цепей с напряжением выше 250 *в* необходимо пользоваться контакторами;

запрещается заниматься работой, непосредственно не относящейся к данным испытаниям;

во время испытаний аппаратуры, связанной с гашением дуги, необходимо пользоваться синими очками;

при ликвидации загораний предварительно обесточить схему, после чего пользоваться только сухими огнетушителями;

при испытании высоковольтных машин и аппаратов необходимо присутствие минимум двух человек;

при испытании на диэлектрическую прочность испытуемый объект должен быть огражден особенно тщательно, причем сигнализация должна действовать во все время испытаний. Производящие испытания должны работать в резиновых перчатках и галошах;

запрещается менять состав бригады и поручать работу лицу, непосредственно не участвующему в испытаниях;

запрещается перегружать оборудование испытательной станции выше допустимой величины;

запрещается присутствовать на территории испытательной станции лицам, непосредственно не участвующим в испытаниях.

После окончания испытаний необходимо:

тщательно осмотреть объект испытаний;

отключить питающие генераторы, причем вначале ввести полностью реостаты возбуждения, после чего отключать силовую схему;

разобрать схему и убрать объект испытаний с территории испытательной станции;

отключить измерительные приборы и убрать их из стенда в специально приспособленный для хранения шкаф;

осмотреть оборудование испытательной станции, использованное в процессе испытаний;

убрать соединительные провода в специально отведенное для их хранения место;

произвести уборку на испытательной станции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А. Е. Тяговые электродвигатели. Трансжелдориздат, 1951.
2. Алексеев М. В., Бычковский А. В., Зольников С. С. Основные выводы из испытаний электровоза ЧС1. Журнал «Электрическая и тепловозная тяга» № 6, 1958.
3. Веников В. А. Применение теории подобия и физического моделирования в электротехнике, 1949.
4. Веников В. А., Иванов-Смолянский А. В. Физическое моделирование электрических систем. Госэнергоиздат, 1956.
5. Жерве Г. К. Промышленные испытания электрических машин. Госэнергоиздат, 1950.
6. Иоффе А. Б. «Вестник электропромышленности» № 9, 1945.
7. Кулебакин В. С. Испытание электрических машин и трансформаторов, ОНТИ НКТП, 1935.
8. Карасев М. Ф., Майстровой В. Я. Индикатор искрения коллекторных машин ИИ-1. Сборник научных трудов, том XXIV, 1957. ТЭМИИТ, г. Томск.
9. Карандеев К. Б. Методы электрических измерений. Госэнергоиздат, 1952.
10. Корицкий Ю. В. и Тареев Б. М. (редакторы). Справочник по электрической изоляции. Госэнергоиздат, 1948.
11. Курочка А. Л. Исследование устойчивости системы электрического торможения на восьмиосных электровозах. Сб. ЛИИТЖ, выпуск 159. Трансжелдориздат, 1958.
12. Курочка А. Л., Боляев И. П. Исследование переходных режимов в схемах электрического торможения электровозов с противовоз-

буждением возбудителей. Известия высших учебных заведений. «Электромеханика» № 8, 1958.

13. Лозановский А. Л. К расчету индуктивных шунтов. Вестник электропромышленности № 3, 1956.

14. Лозановский А. Л., Лурье М. И. К расчету тока в цепи переходного дросселя выпрямительных электровозов переменного тока. Вестник электропромышленности № 9, 1958.

15. Пиотровский Л. М. Испытание машин постоянного тока. Госэнергоиздат, 1948.

16. «Правила 27-54 по применению и проверке расходомеров с нормальными диафрагмами, соплами и трубами Вентури». Машгиз, 1956.

17. Рюденберг Р. Переходные процессы в электроэнергетических системах. Издательство иностранной литературы, 1955.

18. Скобелев В. Е. Пособие по лаборатории электрической тяги, часть 1, ЛПИ, 1956.

19. Скобелев В. Е. Физические особенности коммутации тяговых двигателей при пульсирующем токе. Известия высших учебных заведений. «Электромеханика» № 8, 1958.

20. Сидоров Н. Н. Испытания тяговых электродвигателей, ч. 1, КУБУЧ, 1934.

21. Скляров А. Е. Приборов для обнаружения витковых замыканий в катушках главных и добавочных полюсов электрических машин средней и большой мощности. ЦБТИ, Москва, вып. 2(77), 1957.

22. Скляров А. Е. Прибор для контроля сопротивления катушек электрических аппаратов в процессе намотки. ЦБТИ, Москва, вып. 5(80), 1957.

23. Скляров А. Е. Переносный прибор для проверки коллекторов на межламельное замыкание. ЦБТИ НИИ ЭП № 194, 1958.

24. Скляров А. Е. Установка для испытания секций тяговых двигателей на корпусную и межвитковую электрическую прочность изоляции. ЦБТИ НИИ ЭП № 195, 1958.

25. Скляров А. Е. Прибор для проверки изоляции коллекторов электрических машин. Электрическая и тепловозная тяга № 4, 1959.

26. Тихменев Б. Н., Трахтман Л. М. Подвижной состав электрических железных дорог, т. III. Трансжелдориздат, 1951.

27. Шрамков Е. Г. Электрические и магнитные измерения. Госэнергоиздат, 1937.

28. Шляхто П. Н., Захарченко Д. Д. Подвижной состав электрических железных дорог, т. II. Трансжелдориздат, 1951.

29. Шишкин К. А., Гуревич А. Н., Степанов А. Д., Платонов Е. В. Советские тепловозы. Машгиз, 1954.

30. Этерман И. И. Математические машины непрерывного действия. Машгиз, 1957.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава V

Стр.

Испытания электротяговых аппаратов

Глава VI

Испытательные станции электрических машин и аппаратов

КУРОЧКА Александр Леонтьевич
ЛОЗАНОВСКИЙ Александр Леонтьевич
ЗУСМАНОВСКАЯ Любовь Львовна

«Испытания тяговых машин и аппаратов электрических локомотивов и тепловозов»

Обложка художника *Г. П. Казаковцева*
Технический редактор *Г. П. Верина* Корректор *М. К. Некрасова*

Сдано в набор 11/VIII 1959 г. Подписано к печати 5/XI 1959 г.
Формат бумаги 60×92/16. Печатных листов 14 (1 вкл.) бум. листов 7.
учетно-изд листов 14,71. Тираж 5 000 Т12042. ЖДИЗ 55308. Заказ тип 1672.
Цена 5 р. 15 к. Переплёт 1 р.
Трансжелдориздат, Москва, Басманный туп., 6а

1-я типография Трансжелдориздата МПС, Москва, Б. Переяславская, 46

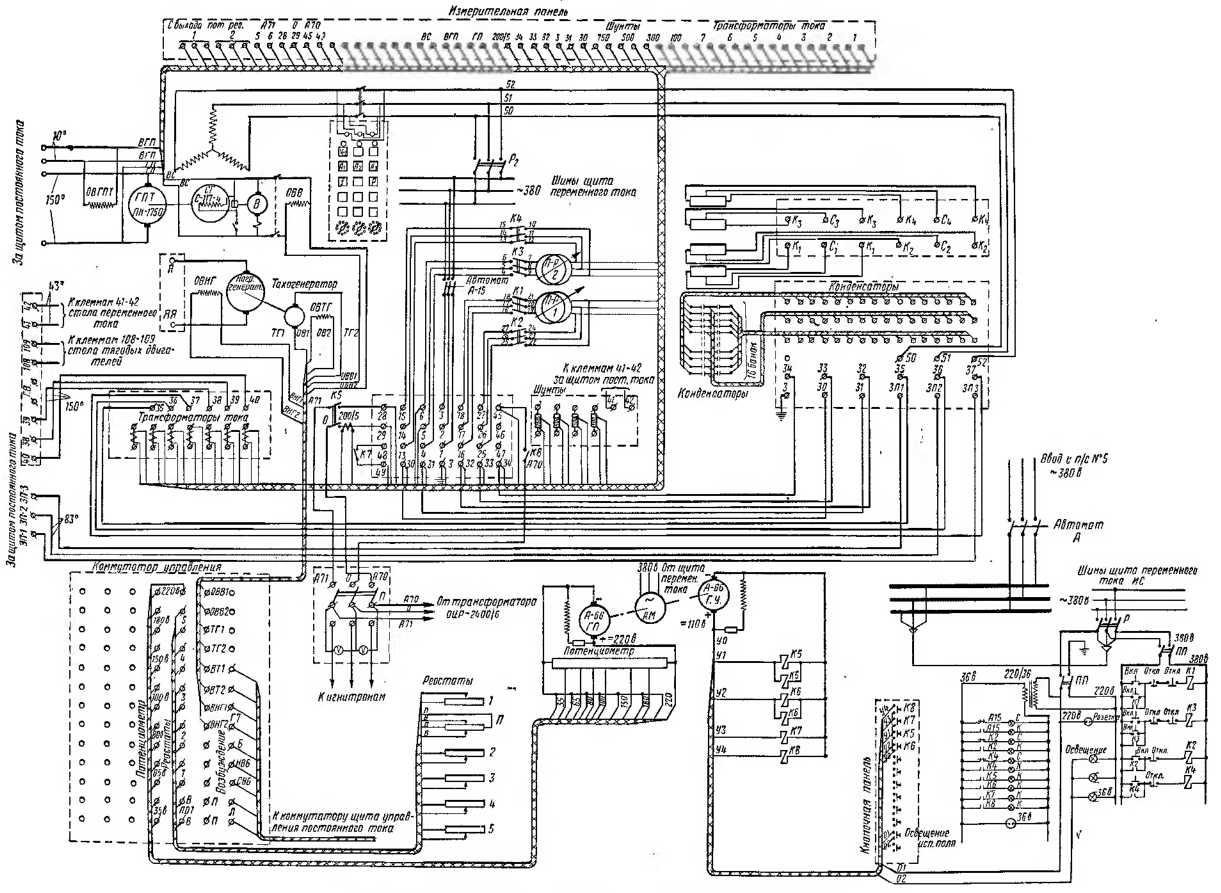


Рис. 121. Принципиальная схема стенда испытания вспомогательных машин переменного тока

6 р. 15 к.

